



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN DAN KOORDINASI RELE
PADA SISTEM KELISTRIKAN *OFFSHORE PLATFORM*
HUSKY-CNOOC MADURA LIMITED**

M. Andri Ludfi Fanani Alwi
NRP 2213 105 018

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

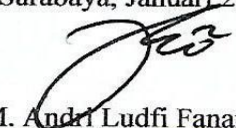
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Stabilitas Transien dan Koordinasi Rele pada Sistem Kelistrikan *Offshore Platform* Husky-CNOOC Madura Limited**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017



M. Andri Ludfi Fanani A.

2213 105 018

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN DAN KOORDINASI
RELE PADA SISTEM KELISTRIKAN *OFFSHORE*
PLATFORM HUSKY-CNOOC MADURA LIMITED.**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,



Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP. 1973 0927 199803 1004

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
NIP. 1966 0318 19901 01001



Analisa Stabilitas Transien dan Koordinasi Rele pada Sistem Kelistrikan *Offshore Platform* Husky-CNOOC Madura Limited.

Nama : M. Andri Ludfi Fanani Alwi
NRP : 2213105018
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRAK

Sistem kelistrikan pada *offshore platform* Husky-CNOOC Madura Limited ini berbeda dengan sistem kelistrikan yang ada di darat, karena menggunakan frekuensi 60 Hz dan tegangan suplai 6,6 kV yang kemudian diturunkan dengan *stepdown transformer* menjadi tegangan 480 V. Sebagian besar beban pada sistem kelistrikan di HCML ini merupakan beban motor yang memiliki daya yang bervariasi.

Sistem *starting* pada motor-motor yang ada pada *offshore platform* HCML ini menggunakan sistem *starting direct online*. Sistem *starting direct online* tersebut pada motor dengan daya yang besar akan sangat berpengaruh terhadap kondisi transien pada sistem kelistrikannya, dengan demikian analisa stabilitas transien diperlukan untuk mengetahui kondisi transien yang ada.

Sistem proteksi Pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML ini juga sangat diperlukan apabila terjadi gangguan. Apabila terjadi gangguan maka *circuit breaker* yang harus trip adalah yang berada pada posisi paling dekat dengan pusat gangguannya, dengan demikian analisa koordinasi rele pada sistem kelistrikan ini juga perlu dilakukan untuk mengetahui sistem proteksi yang ada.

Kata Kunci : *Sistem kelistrikan offshore platform HCML, Stabilitas transien, Koordinasi rele.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

***The Analysis of Transient Stability and Relay
Coordination on Offshore Platform Husky-CNOOC
Madura Limited Electrical System.***

Name : M. Andri Ludfi Fanani Alwi
NRP : 2213105018
Advisor : 1. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRACT

The Electrical system on offshore platforms Husky-CNOOC Madura Limited is different with on ground electrical systems, because it uses the frequency of 60 Hz and supply voltage 6.6 kV which is lowered with stepdown transformer to be voltage 480 V. Most of the load on HCML electrical system are motor load that has varied load.

This starting system on the motors on offshore platform HCML uses direct online starting system. That starting direct online system on motor with huge load will influence transient condition on its electrical system, so that transient stability analysis is needed to know the transient condition.

Protection system on offshore platform HCML electrical system is also needed whenever there is trouble if trouble occurs, the circuit breaker which must trip is the one which is closest to the trouble centre, thus relay coordination analysis on electrical system is also needed to be done in order to know the protection system.

Keywords: *Offshore platform HCML electrical system, Transient Stability, Relay Coordination..*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ ANALISA STABILITAS TRANSIEN DAN KOORDINASI RELE PADA SISTEM KELISTRIKAN *OFFSHORE PLATFORM* HUSKY-CNOOC MADURA LIMITED”. Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis atas dukungan, dorongan semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. dan Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
4. Rekan-rekan kerja di PT PAL Indonesia (persero) yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
5. Seluruh rekan-rekan lintas jalur power sistem yang sudah dianggap penulis sebagai keluarga kedua
6. Seluruh rekan-rekan elektro lintas jalur yang telah berjuang bersama.
7. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Elektro ITS dan keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atas dukungan, kerja sama, doa dan masukannya selama proses perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Halaman

JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2

BAB II STABILITAS TRANSIEN DAN KOORDINASI RELE

2.1 Stabilitas Transien	5
2.2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Standar Tegangan Dan Frekuensi	8
2.4 Dampak Motor Induksi Pada Stabilitas Transien	9
2.4.1 <i>Dynamic Model</i> Motor Induksi	9
2.4.2 Beban Motor Induksi	11
2.4.3 Standar Tegangan Kedip	12
2.5. Sistem Proteksi Dengan Menggunakan Rele	13
2.5.1 Fungsi Rele Pengaman	13
2.5.2 Syarat-syarat Rele Pengaman	14
2.6 Studi Koordinasi Rele	16
2.7 Hal-hal Yang Harus Diperhatikan Dalam Studi Koordinasi Rele / Koordinasi Arus Lebih	16
2.7.1 Arus Hubung Singkat	17
2.7.2 Transformator <i>Wye-delta</i>	17
2.7.3 Arus Aliran Beban	18

2.7.4	<i>Pickup</i>	18
2.7.5	<i>Low Voltage Circuit Breaker</i>	18
2.7.6	<i>MCCB</i>	18
2.7.7	<i>Fuses</i>	19
2.7.8	<i>Saturasi Current Transformer (CT)</i>	19

BAB III SISTEM KELISTRIKAN *OFFSHORE PLATFORM* HCML

3.1.	Sistem Tegangan Dan Frekuensi	21
3.2.	Peralatan Kelistrikan Di HCML	22
3.3.	Jenis-jenis Beban Di <i>Offshore Platform</i> HCML.....	26
3.4.	Sistem Proteksi Di <i>Offshore Platform</i> HCML	30

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1.	Pemodelan <i>Single Line Diagram</i>	33
4.2.	Simulasi Kestabilan Transien	34
4.2.1	Perencanaan Studi Kasus Kestabilan Transien HCML	34
4.2.2	Pemodelan Motor Induksi <i>GTU Lean Amine Pump</i>	35
4.3.	Simulasi Kestabilan Transien pada <i>Starting Motor</i>	36
4.3.1	TS1	37
4.3.2	TS2	39
4.4.	Studi Kasus Koordinasi Rele	42
4.5.	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	42
4.6.	Pemilihan Tipikal Koordinasi	43
4.6.1	Koordinasi Rele Tipikal 1.....	45
4.6.2	Koordinasi Rele Tipikal 2.....	48

BAB V PENUTUP

5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran	60

DAFTAR PUSTAKA	61
RIWAYAT PENULIS	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Standar IEEE 1159-1995.....	8
Gambar 2.2 <i>Dynamic Model</i> Motor Induksi	9
Gambar 2.3 Pemodelan Motor Induksi Secara Detail.....	10
Gambar 2.4 Grafik Karakteristik Torsi Motor Induksi	11
Gambar 2.5 Contoh Sistem Tenaga Listrik Yang Mengalami Gangguan di Titik K.....	15
Gambar 2.6 Arus Pada <i>Delta Grounded Wye Transformator</i> untuk gangguan pada sisi sekunder	17
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan <i>Offshore</i> <i>Platform HCML</i>	21
Gambar 3.2 Panel <i>MV Switchgear</i> dan <i>Nameplate</i>	23
Gambar 3.3 <i>Power Transformer</i>	24
Gambar 3.4 <i>LV Switchgear / MCC</i>	25
Gambar 3.5 <i>Dry Type Transformer</i>	25
Gambar 4.1 <i>Overall Single Line Diagram</i>	33
Gambar 4.2 Respon Tegangan Saat Motor <i>GTU Pump A Starting</i> pada Beban Setengah Penuh	37
Gambar 4.3 Respon Frekuensi Saat Motor <i>GTU Pump A Starting</i> pada Beban Setengah Penuh	38
Gambar 4.4 Respon Tegangan Saat Motor <i>GTU Pump A Starting</i> pada Beban Penuh	39
Gambar 4.5 Respon Frekuensi Saat Motor <i>GTU Pump A Starting</i> pada Beban Penuh	40
Gambar 4.6 Tipikal Koordinasi 1 & 2 pada Simulasi	43
Gambar 4.7 Koordinasi Rele Tipikal 1	44
Gambar 4.8 Hasil Plot Tipikal 1	47
Gambar 4.9 Koordinasi Rele Tipikal 2	48
Gambar 4.10 Koordinasi Rele Tipikal 2A	49
Gambar 4.11 Hasil Plot Tipikal 2A	51
Gambar 4.12 Koordinasi Rele Tipikal 2B	52
Gambar 4.13 Hasil Plot Tipikal 2B	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Sistem Tegangan & Frekuensi pada <i>Offshore Platform</i> HCML	22
Tabel 3.2 Daftar Peralatan Listrik di <i>Offshore Platform</i> HCML	26
Tabel 3.3 Daftar Beban Motor Listrik di <i>Offshore Platform</i> HCML ..	27
Tabel 3.4 Daftar Beban Motor Listrik di <i>FPSO</i> HCML.....	28
Tabel 3.5 Daftar Beban Listrik Selain Motor Listrik di <i>Offshore</i> <i>Platform</i> HCML	28
Tabel 3.6 Daftar Beban Listrik Selain Motor Listrik di <i>FPSO</i> HCML	30
Tabel 3.5 Beban Normal yang Disuplai oleh Panel <i>MCC</i>	30
Tabel 4.1 Data Motor <i>GTU Lean Amine Main Pump</i>	35
Tabel 4.2 Data Parameter Generator pada Sistem Kelistrikan HCML	36
Tabel 4.3 Data Parameter Inersia Generator	36
Tabel 4.4 Data Parameter <i>Exciter</i> Generator.....	36
Tabel 4.5 Data Parameter Governor Tipe GT Pada Generator.....	37
Tabel 4.6 Data Hubung Singkat Minimum 30 <i>cycle</i>	43
Tabel 4.7 Data Hubung Singkat Maksimum 4 <i>cycle</i>	43
Tabel 4.8 Rekomendasi <i>Setting</i> Rele Arus Lebih.....	58
Tabel 4.9 Rekomendasi <i>Setting</i> LVCB/ACB	58

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Husky-CNOOC Madura Limited (HCML) ini merupakan sebuah proyek EPC *offshore platform* yang dikerjakan di PT PAL Indonesia (Persero). Sumber tenaga listrik pada bangunan *offshore platform* ini disuplai dari gas turbin generator yang memiliki tegangan 6.6 kV, dan frekuensi 60 Hz. Beban kelistrikan pada bangunan ini dibagi menjadi tiga jenis yaitu: *continuous load*, *intermittent load*, dan *standby load*.

Beban kelistrikan pada Husky-CNOOC Madura Limited (HCML) ini sebagian besar berupa motor listrik yang digunakan untuk pemrosesan gas / minyak. Motor listrik yang ada pada bangunan *offshore platform* ini berjumlah 38 buah daya terbesar 43 kW sedangkan beban motor listrik pada *FPSO* berjumlah 14 buah dengan daya terbesar yaitu 650 kW. Sistem *starting* yang digunakan pada seluruh motor listrik tersebut yaitu *Direct On-Line*. Analisa stabilitas transien dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *Starting* motor listrik yang ada terhadap kondisi transien sistem kelistrikan yang ada pada Husky-CNOOC Madura Limited ini. Sistem proteksi pada kelistrikan di sebuah *offshore platform* juga sangat diperlukan untuk mengamankan sistem kelistrikan yang ada ketika terjadi gangguan. Koordinasi relay merupakan sebuah sistem proteksi yang digunakan pada Husky-CNOOC Madura Limited ini.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam analisa stabilitas transien, namun dalam penulisan tugas akhir ini metode yang digunakan yaitu metode Newton-Raphson karena metode ini secara umum sering digunakan dalam analisa stabilitas transien sehingga akan lebih mudah untuk memahaminya. Analisa stabilitas transien dan koordinasi relay dilakukan dengan menggunakan software ETAP.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sistem kelistrikan pada Husky –CNOOC Madura Limited.

2. Bagaimana kondisi beban kelistrikan pada Husky-CNOOC Madura Limited.
3. Bagaimana pengaruh beban motor listrik dengan sistem *starting direct on-line* terhadap kondisi transien sistem kelistrikan yang ada.
4. Bagaimana sistem koordinasi relay pada sistem kelistrikan pada Husky –CNOOC Madura Limited.

1.3 Batasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini terdapat beberapa batasan masalah yang ada yaitu:

1. Frekuensi pada sistem kelistrikan *offshore platform* Husky-CNOOC Madura Limited ini yaitu menggunakan frekuensi 60Hz.
2. Sistem *starting* motor listrik pada sistem kelistrikan *offshore platform* Husky-CNOOC Madura Limited ini menggunakan sistem *starting Direct On-Line*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui pengaruh *starting* motor listrik terhadap kondisi transien sistem kelistrikan yang ada sehingga setelah didapatkan hasil analisisnya dapat diketahui sistem proteksi yang cocok digunakan pada sistem kelistrikan Husky –CNOOC Madura Limited.

1.5 METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Mengumpulkan berbagai buku dan referensi lainnya mengenai stabilitas transien dan koordinasi relay yang mendukung dalam penulisan tugas akhir ini.
2. Eksperimen
Eksperimen dilakukan dengan melakukan simulasi pada *software* ETAP untuk mengetahui karakteristik transien dan kurva koordinasi relay pada penelitian tugas akhir ini.

3. Analisa Data

Melakukan analisa data dari hasil eksperimen yang telah dilakukan sehingga dapat dilakukan perbandingan dari hasil eksperimen dengan variasi yang telah ditentukan.

4. Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan didapat dengan melakukan analisa dan perbandingan hasil eksperimen dengan variasi yang telah ditentukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STABILITAS TRANSIEN DAN KOORDINASI RELE

2.1 Stabilitas Transien

Stabilitas adalah kecenderungan sebuah sistem tenaga untuk mengembalikan daya gangguan dengan tujuan untuk mempertahankan kondisi seimbang. Sebuah sistem dikatakan stabil jika daya yang dihasilkan untuk mempertahankan mesin dalam keadaan sinkron dengan yang lain cukup untuk mengatasi daya gangguan. Gangguan kecil atau besar pada sistem tenaga listrik akan berdampak pada kestabilan sistem. Gangguan tersebut dapat berupa: kenaikan atau penurunan beban secara tiba-tiba, gangguan akibat dari rugi pembangkitan, terputusnya jaringan transmisi, beban lebih, atau hubung singkat. Dengan kontrol yang baik diharapkan stabilitas sistem akan menuju keadaan stabil dalam waktu yang singkat setelah gangguan diatasi.

Secara umum stabilitas pada suatu sistem tenaga diklasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu: stabilitas *steady state*, stabilitas dinamis, dan stabilitas transien. Stabilitas *steady state* merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil. Stabilitas dinamis yaitu secara konsep sama dengan stabilitas *steady state* perbedaannya terletak pada pemodelannya, di mana pada stabilitas dinamis eksitasi, turbin, dan generator dimodelkan dengan menyediakan variasi fluks pada *air gap* mesin namun pada stabilitas *steady state* generator direpresentasikan sebagai sumber tegangan konstan saja. Sedangkan stabilitas transien adalah kemampuan sistem tenaga untuk mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi yang baru dapat diterima setelah sistem mengalami gangguan berskala besar dalam kurun waktu selama 1 swing pertama. Dengan asumsi AVR dan governor belum bekerja.

Studi stabilitas dan transien digunakan untuk menentukan sudut daya mesin / pergeseran kecepatan, frekuensi sistem, aliran daya aktif dan reaktif, dan level tegangan bus. Penyebab ketidakstabilan sistem diantaranya yaitu:

- Hubung singkat
- Lepasnya *tie-connection utility system*
- *Starting motor*

- Lepasnya salah satu generator
- Switching operation
- Perubahan mendadak pada pembangkitan atau beban

Oleh karena stabilitas sistem tenaga merupakan fenomena elektromagnetis, maka mesin sinkron memegang peranan penting. Pada saat terjadi gangguan, sudut rotor akan berisolasi dan menyebabkan isolasi aliran daya sistem tenaga.

Berbagai pengembangan yang dapat dilakukan pada sistem berdasarkan studi stabilitas yaitu:

- ❖ Perubahan konfigurasi sistem
- ❖ Desain dan pemilihan *rotating equipment* dengan cara: menambah momen inersia, mengurangi raktan transien, meningkatkan kinerja *voltage regulator*, dan karakteristik *exciter*
- ❖ Aplikasi *power system stabilizer*
- ❖ Peningkatan performa sistem proteksi
- ❖ *Load shedding schemez*.

2.2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

- kestabilan frekuensi
- kestabilan sudut rotor
- kestabilan tegangan.

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kestabilan frekuensi ketika terjadi gangguan sistem yang besar akibat ketidak seimbangan antara suplai daya dan beban. Biasanya gangguan ini berupa perubahan pembangkit atau beban yang signifikan. Titik keseimbangan antara suplai daya sistem dan beban harus dipertahankan untuk menjaga sistem dari generator *outage*. Klasifikasi kestabilan frekuensi diklasifikasikan menjadi 2 yaitu jangka panjang dan jangka pendek. Kestabilan frekuensi jangka panjang disebabkan oleh kontrol governor tidak bekerja ketika terdapat gangguan. Rentang waktu fenomena kestabilan frekuensi jangka panjang yaitu puluhan detik hingga beberapa menit. Kestabilan frekuensi jangka pendek adalah terjadinya perubahan beban yang besar sehingga generator tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan daya pada sistem.

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling interkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah terjadi gangguan. Kestabilan

ini berkaitan dengan kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada masing-masing mesin. Ketidakstabilan tersebut dapat mengakibatkan berubahnya kecepatan sudut ayunan generator sehingga generator mengalami hilang sinkronisasi dengan generator yang lain. Hal tersebut disebabkan daya output dari generator berubah sesuai dengan berubahnya sudut rotor. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika sistem mengalami gangguan berat, seperti hubung singkat pada saluran transmisi. Respon sudut rotor generator mengalami penyimpangan dan dipengaruhi oleh ketidaklinieran hubungan sudut daya. Studi stabilitas transien memiliki kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan. Untuk sistem yang sangat besar dengan ayunan antar wilayah yang dominan maka kurun waktu dapat diperpanjang menjadi 10-20 detik. Kestabilan sudut rotor kecil dan kestabilan transien dikategorikan sebagai fenomena jangka pendek. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil merupakan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kesinkronan akibat gangguan kecil. Studi kestabilan ini mempunyai kurun waktu 10-20 detik setelah gangguan dan tergantung pada operasi awal sistem. Ketidakstabilan ini terjadi akibat dua hal antara lain kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi *damping*.

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus dari sistem tenaga setelah mengalami gangguan. Hal ini bergantung pada kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan antara suplai daya pembangkit dan beban. Biasanya gangguan yang terjadi adalah lepasnya beban yang signifikan dan lepasnya generator sehingga tegangan menjadi drop. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh gangguan besar dan gangguan kecil dalam jangka pendek serta jangka lama. Kestabilan tegangan gangguan besar adalah kemampuan dari sistem tenaga untuk menjaga tegangan *steady* setelah mengalami gangguan besar seperti *generator outage* atau hilangnya pembangkitan dan *short circuit*. Penentuannya dengan pengujian pada sistem tenaga selama periode waktu tertentu untuk mengamati interaksi dan kinerja peralatan *tap changer* trafo, dan pengaman sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan. Kestabilan tegangan gangguan kecil yaitu kemampuan untuk mempertahankan sistem tegangan sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan kecil seperti terjadi perubahan beban kecil. Kestabilan tegangan gangguan kecil digunakan sebagai evaluasi tegangan sistem merespon perubahan

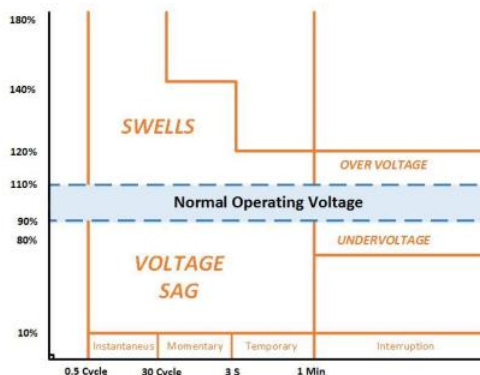
kecil beban listrik. Gangguan kestabilan tegangan jangka pendek mengakibatkan kedip tegangan (*voltage sags*) dan kenaikan tegangan (*swells*). Kedip tegangan (*voltage sags*) adalah fenomena penurunan *magnitude* tegangan efektif terhadap harga nominalnya selama periode antara 0,5 *cycle* hingga 1 menit. Kenaikan tegangan merupakan fenomena peningkatan *magnitude* tegangan efektif terhadap harga nominalnya dengan durasi antara 0,5 *cycle* hingga 1 menit. Gangguan kestabilan tegangan jangka panjang mengakibatkan tegangan lebih (*over voltage*) dan tegangan kurang (*under voltage*). Tegangan lebih merupakan peningkatan nilai efektif tegangan hingga melebihi 110% dari tegangan nominal ketika melebihi 1 menit. Tegangan kurang merupakan penurunan nilai efektif tegangan hingga melebihi 90% dari tegangan nominal ketika melebihi 1 menit.

2.3 Standar Tegangan Dan Frekuensi

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar dari PLN. Standar tegangan tersebut yaitu:

1. 500 kV +5%, -5%
2. 150 kV +5%, -10%
3. 70 kV +5%, -10%
4. 20 kV +5%, -10%

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah berdasarkan standar dari *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159-1995).



Gambar 2.1 Standar IEEE 1159-1995

Standar frekuensi yang digunakan untuk pengendalian frekuensi diatur oleh pemerintah melalui peraturan menteri energy dan sumber daya mineral nomor: 03 tahun 2007 yang diatur dalam aturan operasi OC.3 tentang pengendalian frekuensi. Disebutkan bahwa frekuensi sistem dipertahankan kisaran $\pm 0,2\text{Hz}$ atau 99,6% di sekitar 50Hz, kecuali dalam periode singkat, dimana penyimpangan sebesar $\pm 0,5\text{Hz}$ atau 99% diizinkan selama kondisi darurat.

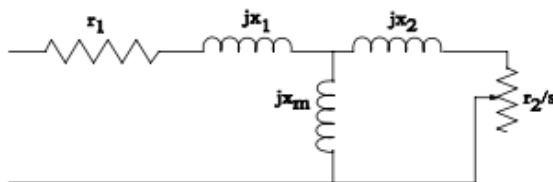
2.4 Dampak Motor Induksi pada Stabilitas Transien

Salah satu hal yang mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik yaitu motor induksi dengan kapasitas daya yang besar. Hal ini dapat menyebabkan tegangan *drop* hingga 50% atau lebih pada terminal. Motor induksi dengan daya yang besar hanya mempengaruhi sistem secara singkat dan hanya mengakibatkan gangguan sesaat saja, namun demikian hal tersebut dapat mengakibatkan dampak yang drastis terhadap komponen sistem tenaga listrik yang ada. 70% dari beban sistem tenaga listrik terdiri dari motor listrik oleh karena itu sangat penting untuk memahami karakteristik motor induksi ketika dalam kondisi gangguan transien. Karakteristik motor induksi ketika dalam keadaan gangguan dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Menurunnya sistem tegangan dan *recovery*
2. Karakteristik transien motor induksi
3. Dekatnya motor induksi dengan lokasi gangguan
4. Karakteristik beban motor induksi
5. Stabilitas sistem

2.4.1 Dynamic Model Motor Induksi

Motor induksi dilihat dari cara kerjanya yaitu tegangan terinduksi apabila terdapat perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s atau yang biasa disebut slip, oleh karena itu motor induksi disebut juga motor asinkron. Secara umum untuk *dynamic model* motor induksi dapat digambarkan sebagai berikut:

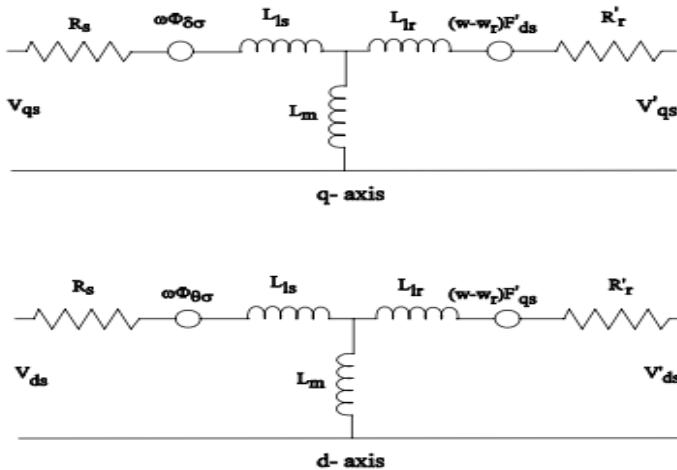


Gambar 2.2 *Dynamic Model Motor Induksi*

dimana:

- r_1, r_2 = tahanan stator dan tahanan rotor
- x_1, x_2 = reaktansi stator dan reaktansi rotor
- X_m = reaktansi magnetic
- S = slip dari motor induksi

Ketika kumparan stator dihubungkan ke sumber 3 fasa maka akan terbentuk medan putar dengan kecepatan $N_s = (120/f)/P$. Setelah itu medan putar akan memotong batang konduktor rotor sangkar atau memotong belitan rotor belit sehingga akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi. Dalam kondisi ini kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka gaya gerak listrik induksi akan menghasilkan arus I . Dengan adanya arus pada suatu medan magnet maka akan menimbulkan gaya F yang akan memutar rotor mengikuti arah medan putar stator. Gambar 2.1 merupakan rangkaian pengganti atau pemodelan motor induksi secara sederhana, untuk gambar pemodelan motor induksi secara detail diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3 Pemodelan Motor Induksi Secara Detail

dimana:

- R_s, L_{1s} = tahanan stator dan kebocoran induktansi
- R'_r, L_{1r} = tahanan rotor dan kebocoran induktansi mengacu pada stator

L_m = induktansi magnetik
 V_{qs} = q axis tegangan rotor mengacu pada tegangan stator dan rotor
 V_{ds} = d axis tegangan rotor mengacu pada tegangan stator dan rotor
 ω = kecepatan sudut listrik
 ϕ = fluks stator

distribusi arus pada konduktor rotor berbeda ketika keadaan frekuensi yang tinggi dan rendah pada rotor dan tahanan rotor secara signifikan memiliki range kecepatan yang lebih, oleh karena itu pemodelan sederhana yang hanya menggunakan flux dinamis tidak dapat menggambarkan pemodelan secara akurat.

2.4.2 Beban Motor Induksi

Pada umumnya torsi beban dan daya tergantung pada tipe beban pada motor tersebut. Persamaan torsi beban dan daya dapat digambarkan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_m &= k_1 + k_2\omega + k_3\omega^2; \\
 P &= T_m\omega = k_1\omega + k_2\omega^2 + k_3\omega^3 \dots\dots\dots (2.1)
 \end{aligned}$$

dimana:

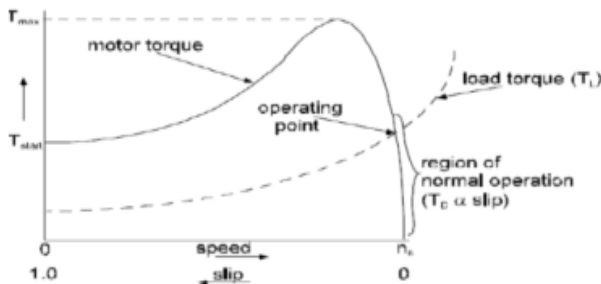
T_m = torsi beban motor

P = daya motor

k = konstanta

ω = kecepatan sudut

pada saat *starting* motor induksi terjadi lonjakan arus yang besar berkisar antara 5 – 7 kali dari arus nominal yang terjadi dalam waktu yang singkat. Lonjakan arus tersebut tentu saja juga akan mengakibatkan lonjakan pada beban motor secara sesaat karena besarnya arus berbanding lurus terhadap daya dan mengakibatkan jatuh tegangan sesaat.



Gambar 2.4 Grafik Karakteristik Torsi Motor Induksi

Gambar diatas merupakan grafik karakteristik torsi pada motor induksi. Pada saat *starting* kondisi transient terjadi karena perubahan arus yang begitu signifikan mulai dari motor dihidupkan hingga motor berputar pada putarannya.

Motor induksi tipe *wound* memiliki lilitan stator mirip dengan motor induksi sangkar bajing, tetapi belitan rotor dihubungkan keluar dari motor dengan menggunakan slip ring dan sikat karbon. Tujuannya untuk menambahkan resistansi yang diseri dengan lilitan rotor selama proses starting. Setelah proses starting, resistansi tersebut dihubungkan singkat dengan menggunakan kontak. Keuntungan penambahan tahanan sekunder ini adalah untuk mengurangi arus starting motor dan akan memperbaiki torsi pada saat proses starting.

Terdapat dua jenis tahanan yang digunakan, yaitu tahanan metal dan liquid. Tahanan metal memiliki prinsip menggunakan kontak metal untuk mengatur nilai tahanan. Semakin jauh jarak kontak metal dari terminal input maka semakin besar nilai resistansinya. Kontak metal rawan meleleh akibat arus starting yang besar. Tahanan liquid memiliki prinsip cairan elektrolit yang merendam dua batang konduktor. Semakin tinggi cairan elektrolit maka semakin kecil nilai resistansinya. Tahanan liquid ini memiliki koefisien suhu terhadap tahanan yang negatif sehingga semakin tinggi suhu maka nilai resistansinya akan mengecil, hal inilah yang akan membatasi arus starting tahanan liquid. Keuntungan tahanan liquid adalah pengaturan nilai resistansi tahanan liquid sangat halus karena tergantung pada tinggi rendaman cairan elektrolit dan tidak ada resiko kontak meleleh.

2.4.3 Standar Tegangan Kedip

Kedip tegangan didefinisikan sebagai fenomena penurunan magnitude tegangan efektif terhadap harga nominalnya selama interval waktu (t). Biasanya disebabkan oleh sistem *fault*, *energization* beban besar ataupun *starting* dari motor-motor besar.

Rumus untuk mendapatkan kedip tegangan:

$$V_s = \left(\frac{Z_{ek_{tot}} V_{th}}{(R_M + R_2) + j(X_M + X_2)} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dalam melakukan starting dengan menggunakan tahanan rotor, maka diperlukan respon antara torsi-slip, arus-slip, dan pf-slip. Untuk mendapatkan respon tersebut dibutuhkan data motor meliputi:

1. Resistansi dan reaktansi stator
2. Resistansi dan reaktansi rotor
3. Nilai resistansi eksternal
4. Kecepatan sinkron motor

2.5 Sistem Proteksi Dengan Menggunakan Rele

Yang dimaksud dengan proteksi terhadap tenaga listrik ialah sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya Generator, Transformator, Jaringan transmisi / distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud dengan kondisi abnormal tersebut antara lain dapat berupa :

- Hubung singkat
- Tegangan lebih atau kurang
- Beban lebih
- Naik turunnya sistem frekuensi

Fungsi dari sistem proteksi itu sendiri adalah untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.

2.5.1 Fungsi Rele Pengaman

Fungsi dari rele pengaman adalah untuk menentukan dengan segera pemutusan / penutupan pelayanan penyaluran setiap elemen sistem tenaga listrik bila mendapatkan gangguan atau kondisi kerja yang abnormal, yang dapat mengakibatkan kerusakan alat atau akan mempengaruhi sistem / sebagian sistem yang masih beroperasi normal. Pemutusan beban (C.B.) merupakan satu rangkaian dengan rele pengaman. Oleh karena itu C.B. harus mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus hubung singkat yang mengalir melaluinya. Selain itu, juga harus mampu terhadap penutupan pada kondisi hubung singkat yang kemudian diputuskan lagi sesuai dengan sinyal yang diterima rele. Bila pemakaian rele pengaman dan C.B. diperhitungkan tidak ekonomis, maka dapat dipakai fuse / sekring. Fungsi yang lain dari rele pengaman adalah untuk mengetahui letak dan jenis gangguan.

Sehingga dari pengamatan ini dapat dipakai untuk pedoman perbaikan peralatan yang rusak. Biasanya data tersebut dianalisa secara efektif guna langkah pencegahan terhadap gangguan dan juga untuk mengetahui kekurangan-kekurangan apa yang ada pada sistem dan pada pengaman (termasuk rele) itu sendiri.

2.5.2 Syarat – Syarat Rele Pengaman

Syarat-syarat agar peralatan rele pengaman dapat dikatan bekerja dengan baik dan benar adalah:

a. Cepat bereaksi

Relay harus cepat bereaksi / bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari rele adalah saat rele mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (C.B) karena komando dari rele tersebut. Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka rele yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (time delay), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

t_{op} = total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan

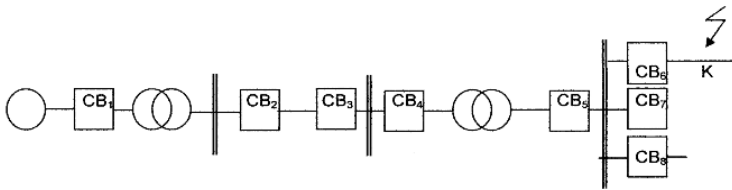
t_p = waktu bereaksinya unit rele

t_{cb} = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan C.B

pada umumnya untuk t_{op} sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

b. Selektif

Yang dimaksud dengan selektif disini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengamanan dari sistem secara keseluruhan. Untuk rnendapatkan keandalan yang tinggi, maka relay pengaman harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.



Gambar 2.5 Contoh Sistem Tenaga Listrik Yang Mengalami Gangguan di Titik K

Dalam sistem tenaga listrik seperti gambar di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya C.B.6 saja yang boleh bekerja sedangkan untuk C.B.1, C.B.2 dan C.B. - C.B. yang lain tidak boleh bekerja.

c. Peka / Sensistif

Relay harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban / response.

d. Andal / *reability*

Keandalan rele dihitung dengan jumlah rele bekerja/ mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90% - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 X dan rele dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 X, maka :

$$\text{keandalan rele} = \frac{23}{25} \times 100 \% = 92 \%$$

Keandalan dapat di bagi 2 :

1) dependability : rele harus dapat diandalkan setiap saat.

2) security : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja

e. Sederhana

Makin sederhana sistem rele semakin baik, mengingat setiap peralatan / komponen rele memungkinkan mengalami kerusakan. Jadi sederhana maksudnya kemungkinan terjadinya kerusakan kecil (tidak sering mengalami kerusakan).

f. Ekonomis

Rele sebaiknya yang murah, tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan yang telah tersebut di atas.

2.6 Studi Koordinasi Rele

Koordinasi rele bertujuan untuk menentukan karakteristik, rating, dan *setting* pada peralatan proteksi arus lebih (*overcurrent protective devices*). Peralatan tersebut diaplikasikan untuk meminimalisir gangguan pada sistem tenaga ketika terjadi *fault* ataupun saat kondisi beban lebih. Gangguan dalam sistem tenaga listrik terdiri dari gangguan internal dan eksternal. Studi koordinasi rele atau koordinasi arus lebih merupakan suatu studi untuk menentukan waktu operasi dari peralatan pengaman yang tepat dan dapat melindungi sistem ketika terjadi gangguan arus lebih. Peralatan pengaman dapat berfungsi sebagai *primary* maupun *backup protection*. Peralatan yang tergolong sebagai *primary protection* berada di garis depan untuk melindungi sistem tenaga dari kerusakan yang ditimbulkan oleh kondisi operasi yang tidak normal akibat gangguan. *Backup protection* akan bekerja ketika *primary protection* gagal mengatasi gangguan. Peralatan yang berperan sebagai *Backup protection* (proteksi cadangan) baru akan bekerja pada interval waktu tertentu setelah peralatan *primary protection*. Oleh karena itu, peralatan pengaman cadangan harus mampu untuk bertahan dalam kondisi gangguan untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan peralatan pengaman utama (*primary protection*). Dalam mengaplikasikan peralatan pengaman, terkadang dibutuhkan kompromi dalam pemilihan antara perlindungan dan selektivitas. Pendekatan yang baik dan disarankan adalah mengutamakan sisi perlindungan. Studi koordinasi perlu untuk dilakukan apabila terjadi perubahan yang signifikan dalam pembebanan atau ketika sistem mengalami *shut down* dalam skala besar ketika terjadi suatu gangguan.

2.7 Hal-hal yang Harus Diperhatikan Dalam Studi Koordinasi Rele

Untuk melakukan studi koordinasi rele atau koordinasi arus lebih, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Hal-hal yang dijelaskan dalam sub bagian berikut adalah bagian-bagian penting dalam proses analisis koordinasi proteksi yang meliputi komponen-komponen untuk

analisis dan juga peralatan pengaman yang digunakan dalam proses koordinasi proteksi.

2.7.1 Arus Hubung Singkat

Besar nilai arus hubung singkat yang mengalir dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus. Beberapa jenis arus hubung singkat yang perlu diperhatikan dalam studi koordinasi arus lebih adalah :

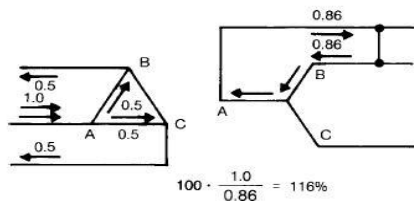
- 1.) Arus hubung singkat *momentary* maksimum dan minimum satu fasa dan tiga fasa.
- 2.) Arus hubung singkat *interrupting duty* maksimum dan minimum (1.5 *cycles* sampai 8 *cycles*) tiga fasa.
- 3.) Arus hubung singkat tiga fasa 30 *cycle* maksimum dan minimum.
- 4.) Arus *ground fault* maksimum dan minimum.

Arus *momentary* digunakan untuk menentukan arus maksimum dan minimum yang mana akan digunakan sebagai arus respon untuk peralatan trip langsung.

Arus *interrupting* maksimum adalah nilai dimana *Coordination Time Interval* (CTI) atau interval waktu koordinasi ditentukan. Sedangkan arus *interrupting* minimum dibutuhkan untuk menentukan apakah sensitivitas proteksi sudah mencukupi.

Arus gangguan 30 *cycle* dapat digunakan untuk menentukan CTI pada peralatan pengaman arus lebih. Nilai aktual dari arus gangguan yang mengalir pada peralatan pengaman digunakan untuk koordinasi.

2.7.2 Transformator Wye-Delta



Gambar 2.6 Arus pada Delta Grounded Wye Transformer untuk Gangguan pada Sisi Sekunder

Untuk gangguan *phase-to-phase* pada sisi sekunder trafo *delta-wye*, arus primer per unit dalam satu fasa memiliki nilai 16% lebih besar

dibandingkan dengan arus sisi sekunder. Sedangkan untuk arus belitan primer saat terjadi gangguan tiga fasa sekunder 16% lebih besar dibandingkan dengan nilai gangguan *phase-to-phase* sekunder.

Pada gangguan satu fasa ke tanah trafo *solid grounded* sisi sekunder, arus per unit di dua fasa sisi primer hanya sebesar 58% dari arus gangguan sisi sekunder. Pada kondisi tersebut, kurva karakteristik dari peralatan proteksi primer harus digeser ke kanan atau kurva ketahanan (*damage curve*) trafo digeser ke kiri sebanyak 58%.

2.7.3 Arus Aliran Beban

Selain studi hubung singkat dan drop tegangan, studi aliran beban perlu dilakukan untuk menentukan beban arus normal serta beban arus darurat pada setiap pusat beban dan percabangan rangkaian. Data arus beban digunakan untuk mendapatkan rating arus kontinyu dari konduktor, perlengkapan, dan peralatan pengaman.

2.7.4 Pickup

Istilah *pickup* dalam banyak peralatan diartikan sebagai besar arus minimum untuk mulai bekerja. Definisi tersebut sangat cocok untuk menggambarkan karakteristik rele. *Pickup* dari rele arus lebih secara umum dipahami sebagai nilai arus minimum yang menyebabkan rele menutup kontaknya. *Setting* arus (atau tap) dari rele dan nilai *pickup* minimum adalah serupa.

2.7.5 Low- Voltage Circuit Breaker

Pickup pada *low-voltage power circuit breaker* didefinisikan sebagai arus minimum yang menyebabkan *trip devices* untuk memutuskan (*trip*) *circuit breaker*. *Trip devices* dapat dilengkapi dengan karakteristik *long-time delay*, *short-time delay*, dan/atau karakteristik instan. Setiap karakteristik tersebut kemungkinan memiliki nilai pengaturan *pickup* yang terpisah.

2.7.6 MCCB

MCCB dengan elemen trip termal pada umumnya mendapatkan arus rating 100% pada suhu 25 derajat *celcius* di tempat terbuka. Sehingga, *breaker* jenis ini menggunakan rating *continuous-ampere* dan bukan menggunakan nilai *pickup*. MCCB sebaiknya hanya diaplikasikan pada 80% dari rating arus kontinyu.

2.7.7 Fuses

Rating arus kontinyu juga digunakan pada *fuse*. *Fuse* tegangan rendah didesain untuk mampu bekerja pada kondisi 110% taring kontinyu. *Fuses* tegangan menengah dan tinggi baru akan bekerja pada kisaran 200% dari rating arus nominalnya.

2.7.8 Saturasi *Current Transformer* (CT)

Fungsi dari CT adalah untuk menghasilkan arus sekunder yang nilainya proporsional dan satu fasa dengan arus primer. Arus sekunder digunakan ke rele proteksi yang cocok dengan *range* dan karakteristik beban. Saturasi pada CT timbul karena terjadi peningkatan kerapatan fluks yang diakibatkan oleh naiknya besar nilai arus ketika CT beroperasi pada kaki kurva eksitasinya. Pada kasus saturasi yang parah, output arus sekunder dapat mendekati nilai nol pada satu atau beberapa fasanya.

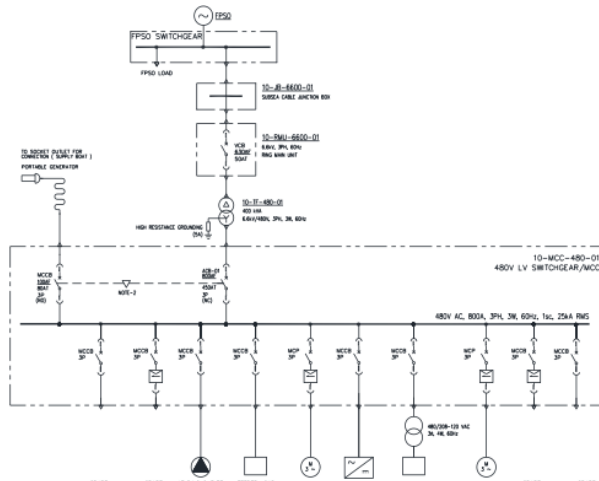
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN DI *OFFSHORE PLATFORM* HCML

3.1 Sistem Tegangan Dan Frekuensi

Sistem tegangan pada bangunan *offshore platform* HCML berbeda dengan sistem tegangan listrik di darat karena sistem kelistrikan pada *offshore platform* ini bersumber dari tegangan 6,6 kV dan kemudian tegangan tersebut diturunkan menjadi 480 V dengan *Stepdown Transformer*. Tegangan 480 V didistribusikan ke peralatan-peralatan listrik yang ada melalui *Low Voltage Switchboard / MCC*. Tegangan 6,6 kV dihasilkan dari generator yang berada pada *FPSO (Floating, Production, Storage, and Offloading facility)* yang letaknya terpisah sejauh 300 meter dari bangunan *offshore platform* HCML. Tegangan listrik disalurkan dari generator yang berada pada *FPSO* menuju ke bangunan *offshore platform* dengan menggunakan *subsea cable*. Gambaran secara umum sistem tegangan pada *offshore platform* ini dapat dilihat pada *single line diagram* berikut ini:



Gambar 3.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan *Offshore Platform* HCML.

Sistem frekuensi pada kelistrikan *offshore platform* HCML ini pun juga berbeda dengan sistem frekuensi kelistrikan pada umumnya yaitu menggunakan frekuensi 60Hz, sehingga peralatan-peralatan listrik yang ada harus memiliki spesifikasi untuk dapat digunakan pada sistem frekuensi 60Hz ini. Tabel 3.1 berikut ini menjelaskan tentang sistem frekuensi dan tegangan pada peralatan-peralatan listrik yang ada di bangunan *offshore platform* HCML.

Tabel 3.1 Sistem Tegangan & Frekuensi pada *Offshore Platform* HCML.

No.	Peralatan / Sistem	Tegangan & Frekuensi
1.	Pembangkitan Daya Utama	6600V, 3Phase, 3 wire, 60Hz
2.	Beban pada FPSO	6600V, 3Phase, 3 wire, 60Hz
3.	<i>Subsea Power Cable</i>	6600V, 3Phase, 3wire
4.	Suplai Normal	480V, 3Phase, 3wire, 60Hz
5.	Sistem penerangan / Lampu	120V, 1Phase, 2wire, 60Hz
6.	<i>AC UPS Supply</i>	208/120V, 3phase, 4wire, 60Hz
7.	<i>DC UPS Supply</i>	110V DC, 2wire
8.	Sistem Navigasi	480V, 3Phase, 3wire, 60Hz
9.	Sistem Peralatan Komunikasi	120V, 1Phase, 2wire, 60Hz
10.	Peralatan Instrumentasi	24V DC, 2wire

Berdasarkan Tabel 3.1 diperlihatkan bahwa terdapat 2 jenis sistem tegangan yaitu sistem tegangan AC dan DC. Sistem tegangan DC dihasilkan dari UPS. Sistem frekuensi pada semua peralatan sistem tegangan AC yaitu menggunakan frekuensi 60Hz.

3.2 Peralatan Kelistrikan di HCML

Bangunan *offshore platform* HCML ini merupakan sebuah *offshore platform* yang digunakan untuk pengeboran minyak dan gas. Dalam proses pengeboran minyak dan gas tersebut terdapat berbagai peralatan yang memerlukan sumber tenaga listrik. Beban Sistem kelistrikan pada HCML ini terbagi menjadi 2 yaitu beban yang terpasang pada FPSO dan beban pada *offshore platform*. Peralatan-peralatan utama kelistrikan yang ada pada *offshore platform* dan FPSO HCML diantaranya yaitu:

a. Gas Turbine Generator

Terdapat 3 buah gas turbin generator yang merupakan sumber tenaga listrik yang digunakan oleh peralatan-peralatan kelistrikan yang ada pada *offshore platform* HCML Ini. Gas turbin generator ini terletak terpisah dari *offshore platform* yaitu terletak di *FPSO*. Dalam kondisi operasi normal hanya 2 generator yang bekerja dan 1 generator *standby*.

b. MV Switchgear

MV Switchgear / Ring main unit pada *offshore platform* HCML ini memiliki spesifikasi yaitu: 6,6 kV, 60 Hz, 3 Phase. *MV Switchgear* ini menyalurkan tegangan yang berasal dari generator yang kemudian tegangan yang keluar dari *MV Switchgear* ini disalurkan menuju *stepdown transformer* 6.6kV/480V.



peralatan listrik yang ada. Trafo ini menggunakan sistem pendinginan *ONAN (Oil Natural Air Natural)*. Pada sisi primer trafo ini terhubung secara delta dan pada sisi sekunder terhubung secara *star*. Kapasitas daya pada trafo ini yaitu sebesar 400 kVA dengan frekuensi 60 Hz , 3 phase.



Gambar 3.3 *Power Transformer*

Gambar 3.3 memperlihatkan foto dari Trafo daya yang terpasang pada bangunan *offshore platform HCML*. Pada gambar 3.3 tersebut juga memperlihatkan *HV Side* yaitu sisi tegangan tinggi atau sisi primer dari trafo dengan input tegangan sebesar 6,6 kV.

d. *LV Switchgear / MCC*

LV Switchgear / MCC yang terpasang pada *offshore platform HCML* ini merupakan panel yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan 480 V, 60 Hz ke peralatan-peralatan yang membutuhkan sumber tenaga listrik. Tegangan 480 V yang masuk ke *LV Switchgear / MCC* ini berasal dari *power transformer* yang telah menurunkan tegangan dari 6,6 kV ,menjadi 480 V. Panel *LV Switchgear / MCC* terdiri dari beberapa blok panel yang digunakan untuk mengendalikan atau mengontrol motor listrik dan peralatan listrik lainnya yang membutuhkan tegangan 480 V. Panel ini juga dilengkapi dengan Lokal kontrol untuk menjalankan atau menghentikan jalannya motor listrik atau peralatan listrik lainnya langsung dari panel secara manual apabila sistem otomatis mengalami gangguan. Tombol-tombol yang terdapat pada lokal kontrol yaitu:

- tombol *start*
- tombol *stop / emergency stop*
- *remote switch*

sistem *starting motor* pada *outgoing panel MCC* ini yaitu menggunakan sistem *starting DOL (Direct On Line)*. Gambar 3.4 berikut ini memperlihatkan panel *LV Switchgear / MCC* pada *offshore platform HCML*:



Gambar 3.4 *LV Switchgear / MCC*

e. *Lighting Transformer*

Lighting Transformer ini termasuk *dry type transformer* yang merupakan trafo kering yang tidak menggunakan oli sebagai media pendinginnya. Trafo ini pada *offshore platform HCML* berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 480 V menjadi 208 V yang digunakan untuk mensuplai tegangan ke lampu-lampu penerangan yang menggunakan tegangan 120 V, 1Phase dan peralatan listrik lainnya yang menggunakan tegangan 208 V, 3 phase atau 120 V, 1 Phase.



Gambar 3.5 *Dry Type Transformer*

Gambar 3.5 memperlihatkan foto *Dry Type Transformer* dan *name plate* trafo tersebut. Pada *name plate* tersebut diperlihatkan bahwa pada sisi primer / *MV (Medium Voltage)* terhubung secara *delta* dan pada sisi sekunder / *LV (Low Voltage)* terhubung secara *star*.

Selain peralatan-peralatan listrik utama yang berfungsi untuk mendistribusikan sistem tenaga listrik tersebut masih terdapat beberapa peralatan listrik lainnya di *offshore platform* HCML diantaranya yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.2 Daftar Peralatan Listrik di *Offshore Platform* HCML

No.	No. Tanda Peralatan	Peralatan	Rating
1.	10-LP-208-01	<i>Lighting & small power distribution board</i>	18,6 kW
2.	10-PP-480-01	<i>Heat tracing panel supply</i>	32 kW
3.	10-MOV-480-01	<i>Motor operator valve distribution board</i>	18,21 kW
4.	10-UP-208-01	<i>208/120 V AC UPS distribution panel</i>	208 V AC
5.	10-CP-480-01	<i>HVAC panel supply</i>	26,74 kW
6.	10-NB-24-01	<i>Navigation aids battery</i>	335Ah, 24 V DC
7.	10-UB-220-01	<i>Battery for UPS</i>	152 Ah
8.	10-HRG-480-01	<i>High resistance grounding panel</i>	480V, 55,5Ω, 5A
9.	10-NAV-01 s/d 04	<i>Navigation aids lantern</i>	12V, 3A
10.	10-FD-01	<i>Fog detector</i>	24V DC, 10W
11.	10-JB-6600-01	<i>MV subsea cable Junction Box</i>	6,6 kV

3.3 Jenis-Jenis Beban Di Offshore Platform HCML

Beban kelistrikan di *Offshore platform* HCML ini dibagi menjadi 3 kategori yaitu:

- *Continuous load* : yaitu beban kelistrikan yang beroperasi secara terus-menerus tanpa berhenti.

- *Intermitten load* : : yaitu beban kelistrikan yang beroperasi tidak secara terus-menerus tetapi beroperasi dalam waktu tertentu saja.
- *Standby load* : yaitu beban kelistrikan yang beroperasi ketika terdapat *maintenance* atau beban kelistrikan cadangan yang hanya beroperasi ketika peralatan listrik utama mengalami kerusakan.

Beban-beban kelistrikan yang terdapat pada *offshore platform* HCML dan *FPSO* ini sebagian besar yaitu beban berupa motor listrik diantaranya yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.3 Daftar Beban Motor Listrik di *Offshore Platform* HCML

No.	Peralatan	No. Peralatan	Rating	Jenis Beban
1.	<i>MEG injection Pump A</i>	G-1007A	43 kW	<i>continuous</i>
2.	<i>MEG injection Pump B</i>	G-1007B	43 kW	<i>intermitten</i>
3.	<i>Diesel pump A</i>	G-1001A	1.12 kW	<i>intermitten</i>
4.	<i>Diesel pump B</i>	G-1001B	1.12 kW	<i>standby</i>
5.	<i>Pour point depressant pump A</i>	G-1002A	4 kW	<i>continuous</i>
6.	<i>Pour point depressant pump B</i>	G-1002B	4 kW	<i>standby</i>
7.	<i>Open drain sump pump A</i>	G-1003A	3.73 kW	<i>intermitten</i>
8.	<i>Open drain sump pump B</i>	G-1003B	3.73 kW	<i>standby</i>
9.	<i>Liquid pump A</i>	G-1004A	18.65 kW	<i>intermitten</i>
10.	<i>Liquid pump B</i>	G-1004B	18.65 kW	<i>intermitten</i>
11.	<i>High pressure hydraulic pump A</i>	G-1005A	1.5 kW	<i>continuous</i>
12.	<i>High pressure hydraulic pump B</i>	G-1005B	1.5 kW	<i>standby</i>
13.	<i>Medium pressure hydraulic pump A</i>	G-1008A	0.55 kW	<i>continuous</i>
14.	<i>Medium pressure hydraulic pump B</i>	G-1008B	0.55 kW	<i>standby</i>
15.	<i>Motor operated valve</i>	XV-101 s/d 108	1.5 kW	<i>intermitten</i>

Berdasarkan Tabel 3.3 beban motor dengan rating daya listrik yang paling tinggi yaitu *MEG Injection pump* sebesar 43 kW sedangkan motor listrik dengan rating daya listrik yang paling rendah yaitu

Medium pressure hydraulic pump yang hanya memiliki rating daya sebesar 0.55 kW.

Tabel 3.4 Daftar Beban Motor Listrik di *FPSO* HCML

No.	Peralatan	No. Peralatan	Rating	Jenis Beban
BUS A				
1.	<i>GTU lean amine main pump A</i>	45-ME-3395A	650 kW	<i>continuous</i>
2.	<i>Seawater cooling pump A</i>	G-6407A	350 kW	<i>continuous</i>
3.	<i>General service pump motor No.2</i>	G-4106	160 kW	<i>intermitten</i>
4.	<i>1st & 2nd stage compressor motor</i>	30-ME-3751A	475 kW	<i>continuous</i>
5.	<i>Sea water lift pump motor A</i>	PT-ME-5310A	300 kW	<i>continuous</i>
6.	<i>Recycle gas blower</i>	40-KB-3520A	160 kW	<i>intermitten</i>
BUS B				
1.	<i>GTU lean amine main pump B</i>	45-ME-3395B	650 kW	<i>standby</i>
2.	<i>Seawater cooling pump B</i>	G-6407B	350 kW	<i>standby</i>
3.	<i>GTU lean amine main pump C</i>	G-2003C	650 kW	<i>standby</i>
4.	<i>Seawater cooling pump B</i>	G-6407C	350 kW	<i>standby</i>
5.	<i>Ballast Pump No.2</i>	PA-2033C	160 kW	<i>standby</i>
6.	<i>1st & 2nd stage compressor motor</i>	30-ME-3751B	475 kW	<i>standby</i>
7.	<i>Sea water lift pump motor A</i>	PT-ME-5310B	300 kW	<i>standby</i>
8.	<i>Recycle gas blower</i>	40-KB-3520B	160 kW	<i>standby</i>

Berdasarkan Tabel 3.4 beban motor dengan rating daya listrik yang paling tinggi pada *FPSO* yaitu *GTU lean amine main pump* sebesar 650kW sedangkan motor listrik dengan rating daya listrik yang paling rendah pada *FPSO* yaitu *Recycle gas blower* yang hanya memiliki rating daya sebesar 160 kW. Selain beban berupa motor listrik yang ada

di *offshore platform* HCML ini terdapat beberapa beban kelistrikan lainnya diantaranya yaitu:

Tabel 3.5 Daftar Beban Listrik Selain Motor Listrik di *Offshore Platform* HCML

No.	Peralatan	No. Peralatan	Rating	Jenis Beban
1.	<i>Lighting distribution board</i>	10-LT-208-01	24 kW	<i>continuous</i>
2.	<i>Navigation aids battery charger</i>	10-NCCP-240-01	2 kW	<i>continuous</i>
3.	<i>Heat tracing</i>	10-PP-208-01	20 Kw	<i>intermitten</i>
4.	<i>UPS A</i>	10-UU-208-01A	20 Kw	<i>continuous</i>
5.	<i>UPS B</i>	10-UU-208-01B	20 Kw	<i>standby</i>
6.	<i>UPS Bypass</i>	10-UT-208-01	20 Kw	<i>standby</i>
7.	<i>Welding outlet 1</i>	10-WO-480-01	25 kW	<i>intermitten</i>
8.	<i>Welding outlet 2</i>	10-WO-480-02	25 kW	<i>standby</i>
9.	<i>Welding outlet 3</i>	10-WO-480-03	25 kW	<i>standby</i>
10.	<i>HVAC</i>	ACCU-01 s/d 05 FCU-01 s/d 05	22,25 kW	<i>continuous</i>

Dari Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 yang merupakan daftar beban berupa motor listrik sebagai penggerak pompa yang menunjukkan bahwa beban dengan rating daya terbesar yaitu pada motor listrik penggerak *GTU lean amine main pump* sebesar 650 kW dan Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 yaitu daftar beban selain motor listrik yang menunjukkan bahwa beban dengan rating daya terbesar yaitu *lump load 3* pada Bus B sebesar 2755kVA.

Tabel 3.6 Daftar Beban Listrik Selain Motor Listrik di *FPSO HCML*

No.	Peralatan	No. Peralatan	Rating	Jenis Beban
BUS A				
1.	<i>Lump Load 1</i>	65-TXR-7520	1576 kVA	<i>continuous</i>
2.	<i>Lump Load 2</i>	65-TXR-7520	126 kVA	<i>intermitten</i>
3.	<i>Lump Load 3</i>	65-TXR-7520	272 kVA	<i>standby</i>
BUS B				
1.	<i>Lump Load 1</i>	65-TXR-7540	1494 kVA	<i>continuous</i>
2.	<i>Lump Load 2</i>	65-TXR-7540	300 kVA	<i>intermitten</i>
3.	<i>Lump Load 3</i>	65-TXR-7540	2755 kVA	<i>standby</i>

Beban kelistrikan secara keseluruhan yang disuplai oleh panel *LV Switchgear / MCC* pada beban di *Offshore Platform HCML* dalam kondisi normal dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.7 Beban Normal yang disuplai oleh Panel *MCC*

<i>MCC Panel</i>	Load (kW)
<i>Continuous load (Pc)</i>	95.06
<i>Maximum load (Pn)</i>	165.17
<i>Peak load (Pp)</i>	189.75
<i>Peak load x 1.1 (Ppm)</i>	208.73

Tabel 3.7 memperlihatkan bahwa pada saat kondisi beroperasi total beban kelistrikan *continuous load* yaitu sebesar 95.06 kW dan beban puncaknya yaitu sebesar 189.75 kW. *Peak load x 1.1* maksudnya yaitu 10% diatas beban puncak harus diperhitungkan sehingga kapasitas dari panel *MCC* pada *Offshore Platform HCML* tersebut harus memiliki rating 110% yaitu sebesar 208.73 kW.

3.4 Sistem Proteksi di *Offshore Platform HCML*

Sistem proteksi pada sistem kelistrikan di *offshore platform HCML* ini bertujuan untuk melindungi semua peralatan kelistrikan yang ada jika terjadi gangguan. Sistem proteksi dibutuhkan untuk secara selektif mematikan atau *menge-trip*-kan CB yang terletak di dekat terjadinya gangguan. Beberapa hal

yang diterapkan untuk sistem proteksi kelistrikan di *offshore platform* HCML ini yaitu:

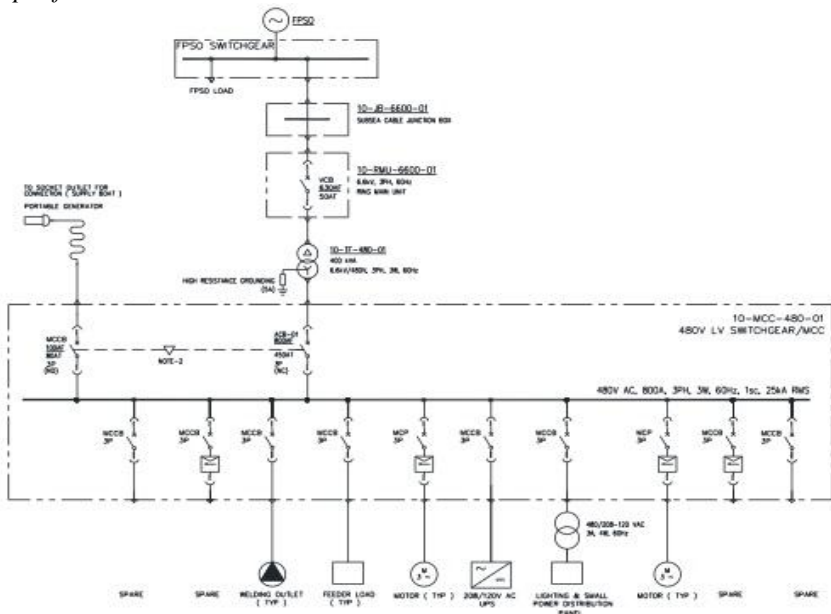
1. *Fault clearing time*, waktu operasi rele, dan waktu yang dibutuhkan *breaker* untuk membuka tidak boleh melebihi 1 detik dari waktu hubung singkat pada *MV junction box*, *RMU*, dan *LV Switchgear*.
2. Pengaturan rele arus dipilih untuk mengizinkan aliran arus beban penuh pada peralatan yang beroperasi secara *continuous* melalui rele tanpa harus mengoperasikan rele. Untuk *feeder* trafo distribusi utama pengaturan arus dipilih rele arus lebih pada sisi tegangang tinggi (primer) dan sisi tegangan rendah (sekunder). Rele arus lebih harus dipastikan bahwa rele tidak beroperasi ketika *energizing* trafo yang mungkin arusnya bisa mencapai 12 kali dari arus trafo ketika beban penuh. Untuk *feeder* motor pengaturan arus dipilih harus dipastikan bahwa rele tidak beroperasi selama *starting* motor yang arusnya bisa mencapai 6.5 kali arus motor beban penuh.
3. Kurva *starting* motor dan kurva *thermal limit* untuk motor dengan daya yang paling besar pada beban kelistrikan *offshore platform* HCML yaitu motor penggerak *MEG injection pump* diatur berdasarkan data berikut:
 - Waktu *starting* motor = tergantung dari jumlah inersia dan karakteristik beban.
 - *Motor stall time* = 19-21 detik (*cold*) dan 22-24 detik (*hot*) berdasarkan data motor *MEG*.
4. Peralatan proteksi *upstream* secara selektif akan memberikan proteksi dengan peralatan proteksi penyulang *downstream*. Secara umum sebuah percobaan telah dilakukan untuk memberikan margin 0.2 – 0.3 detik antara rele *upstream* dan rele *downstream* untuk *clearing* dari gangguan *downstream* ketika arus gangguan mengalir melalui kedua peralatan secara bersamaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Pemodelan *Single Line Diagram Offshore Platform* HCML

Pemodelan *single line diagram* pada sistem kelistrikan Husky-CNOOC Madura Limited ini terdiri dari beban pada FPSO dan *offshore platform* HCML. Pada *Offshore platform* HCML ini tersusun dari beberapa peralatan kelistrikan yang ada yaitu: 1 unit *Subsea cable junction box* 6,6 kV, *Ring main unit / MV Switchgear* 6.6 kV 60Hz (10-RMU-6600-01), 1 unit Trafo 6.6 kV / 480 V dengan rating 400 kVA (10-TF-480-01) dan 1 unit *LV Switchgear / MCC* 480 V 60 Hz (10-MCC-480-01) yang digunakan untuk mendistribusikan listrik ke semua peralatan yang memerlukan tenaga listrik. Sumber tenaga listrik di *offshore platform* ini berasal dari 3 unit *Gas turbine generator* yang terletak terpisah dari *offshore platform* HCML yaitu terletak di FPSO. Berikut ini gambar *single line diagram* secara keseluruhan pada *offshore platform* HCML:



Gambar 4.1 *Overall Single Line Diagram*

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa Tegangan yang dibangkitkan sebesar 6.6 kV, 60 Hz oleh *Gas turbine generator* yang terletak di *FPSO* disalurkan melalui *subsea cable* (300 meter) ke 6.6 kV *Subsea cable junction box* kemudian tegangan listrik disalurkan ke *MV Switchgear* dan selanjutnya tegangan tersebut diturunkan dari 6.6 kV menjadi 480 V melalui sebuah trafo dengan rating 400 kVA. *Output* tegangan 480 V 60 Hz dari trafo tersebut kemudian menuju *LV Switchgear / MCC* yang kemudian akan disalurkan menuju ke beban-beban yang membutuhkan tenaga listrik. Pada *LV Switchgear* juga terdapat *socket outlet connection* 480 V, 60 Hz yang digunakan untuk menyalurkan tegangan listrik yang berasal dari *portable generator* apabila tegangan dari Trafo 6.6 kV / 480 V tidak dapat disalurkan atau sedang dalam kondisi *maintenance*.

4.2 Simulasi Kestabilan Transien

Simulasi kestabilan transien dilakukan pada sistem kelistrikan di Husky-CNOOC Madura Limited (HCML) ini untuk mengamati atau menganalisa kestabilan sistem ketika mengalami gangguan terutama pada gangguan *starting motor*.

4.2.1 Studi Kasus Kestabilan Transien HCML

Pengujian sistem kelistrikan di HCML terhadap gangguan besar bertujuan untuk mengetahui respon sistem terhadap gangguan-gangguan yang mungkin terjadi terutama gangguan *starting motor* daya yang paling besar pada sistem. Studi kasus kestabilan transien karena *starting motor* yang akan dilakukan pada sistem kelistrikan HCML ini yaitu:

1. Starting Motor Daya Paling Besar Pada Beban Setengah

Pada kasus ini dilakukan *starting motor* ketika motor dalam kondisi *OFF* dengan asumsi 1 motor beroperasi sesaat setelah sistem berjalan dan pada saat kondisi beban sistem setengah penuh. Motor yang di-*start* adalah motor induksi yang memiliki daya yang paling besar pada sistem yaitu motor penggerak *GTU Lean Amine Main Pump* 650 kW. Motor induksi kemudian akan dioperasikan sesaat setelah sistem berjalan yaitu 2 detik setelah sistem mulai beroperasi. Setelah itu akan dilihat respon transien sistem ketika motor *start* diantaranya yaitu respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor.

2. Starting Motor Daya Paling Besar Pada Beban Penuh

Seperti halnya pada kasus yang pertama pada kasus yang kedua ini *starting motor* dilakukan ketika motor dalam kondisi *OFF* dengan asumsi 1 motor beroperasi sesaat setelah sistem berjalan dan pada saat kondisi beban sistem penuh. Motor yang di-start adalah motor induksi yang memiliki daya yang paling besar pada sistem yaitu motor penggerak *GTU Lean Amine Main Pump* 650 kW. Kemudian akan diamati dampak dari *starting motor* pada saat 2 detik setelah sistem berjalan terhadap tegangan dan frekuensi pada sistem.

4.2.2 Motor Induksi Penggerak *GTU Lean Amine Main Pump*

Berdasarkan keseluruhan beban listrik yang ada di *sistem kelistrikan* HCML ini motor listrik yang memiliki rating daya yang paling besar yaitu motor listrik penggerak *GTU Lean Amine Main Pump* yaitu sebesar 650 kW. Berikut ini tabel data motor induksi penggerak *GTU lean amine main pump*:

Tabel 4.1 Data Motor *GTU Lean Amine Main Pump*

No.	Parameter	Nilai
1.	Daya Nominal	650 kW
2.	Tahanan Stator	29 mΩ
3.	Induktansi Stator	0.5 mH
4.	Tahanan Rotor	40 mΩ
5.	Induktansi Rotor	0.5 mH
6.	Inersia	63.87 Kg.m ²

Tabel 4.1 merupakan parameter pada motor listrik penggerak *GTU lean amine main pump*. Pada sistem kelistrikan HCML ini terdapat 3 buah motor *GTU lean amine main pump* yaitu *GTU lean amine main pump A*, *GTU lean amine main pump B*, dan *GTU lean amine main pump C* namun ketiga motor tersebut tidak beroperasi secara bersamaan, yang beroperasi secara terus menerus (*continuous*) hanya satu motor yaitu *GTU lean amine main pump A*. sedangkan motor penggerak *GTU lean amine main pump B* beroperasi secara *intermitten* dan *GTU lean amine main pump C* merupakan motor *stand by* yang beroperasi ketika motor A dan motor B mengalami gangguan.

4.3 Simulasi Kestabilan Transien Pada *Starting Motor*

Berdasarkan keseluruhan beban listrik yang ada di *offshore platform* HCML ini sebagian besar beban merupakan beban motor listrik. Motor listrik dengan kapasitas atau rating daya yang paling tinggi tentunya akan sangat berpengaruh terhadap kestabilan sistem tenaga listrik yang ada di *offshore platform* HCML ini. Dari beberapa motor listrik yang ada motor listrik penggerak *GTU lean amine main pump* lah yang memiliki rating daya yang paling tinggi yaitu sebesar 650 kW. Dari ketiga motor listrik penggerak *GTU lean amine main pump* Motor listrik penggerak *GTU lean amine main pump A* yang akan disimulasikan dampak yang dapat diakibatkan oleh motor ini. Pada simulasi ini parameter-parameter yang digunakan pada masing-masing generator yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Parameter Impedansi Generator

No.	Parameter	Nilai
1.	Daya Nominal	3.7 MW
2.	X_d''	19 %
3.	X_2	18 %
4.	X_0	7 %
5.	R_a	1 %
6.	R_2	2 %
7.	R_0	1 %

Tabel 4.3 Data Parameter Inersia Generator

No.	Parameter	Nilai
1.	RPM	1800
2.	WR^2	24262
3.	H	4.172

Tabel 4.4 Data Parameter *Exciter* Generator

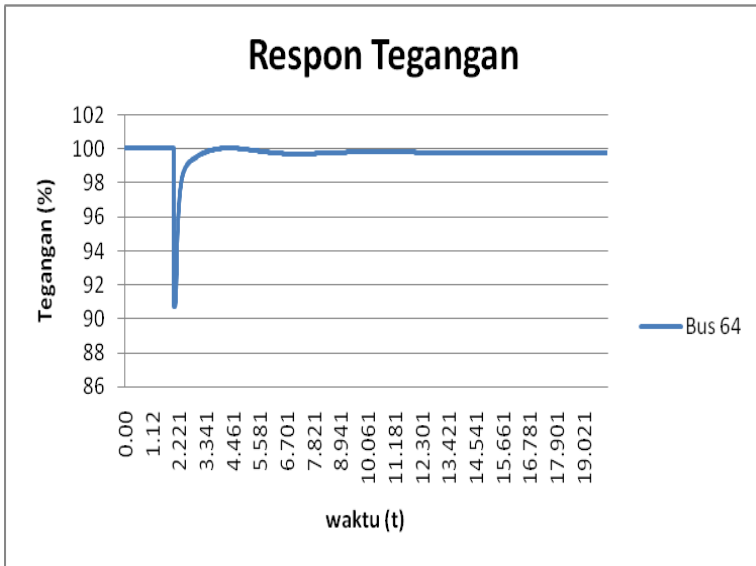
No.	Parameter	Nilai
1.	VRmax	17.5
2.	VRmin	-15.5
3.	SEmax	1.65
4.	SE.75	1.13
5.	Efd max	6.6

Tabel 4.5 Data Parameter Governor Tipe GT pada Generator

No.	Parameter	Nilai
1.	Droop	5
2.	Pmax	3.895
3.	Tsr	0.15
4	Tc	0.1
5.	Tt	0.1

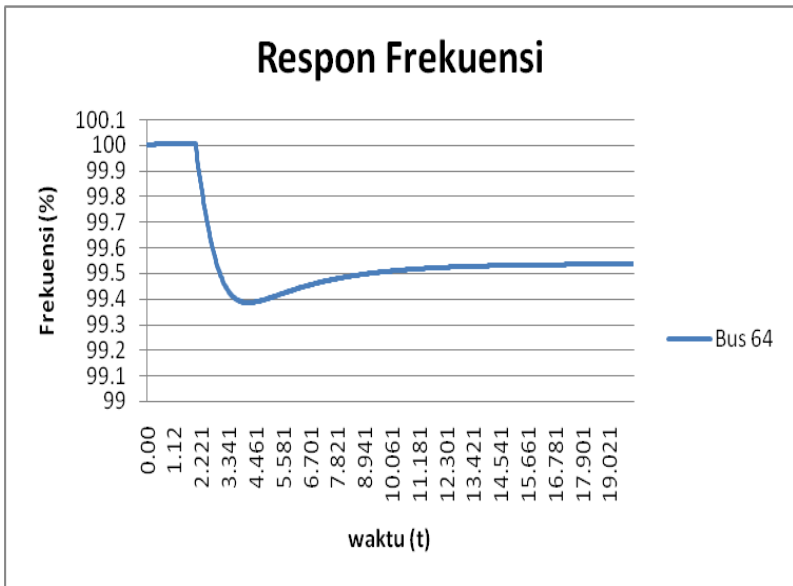
4.3.1 TS1

Pada kasus TS1 ini yaitu pada saat kondisi beban setengah penuh yaitu pada beban 4 MW dengan 2 buah generator yang beroperasi dan 1 generator *standby* motor dengan kapasitas daya paling besar di-*start* setelah 2 detik sistem berjalan. Masing-masing generator yang ada pada sistem ini memiliki kapasitas daya 3,7 MW. Pada saat kondisi ini motor penggerak *GTU Lean amine main pump A* yang berkapasitas 650 kW di-*start*. Pada pola operasi TS1 ini beban yang beroperasi hanya setengah dari beban penuh karena diasumsikan hanya beban yang bersifat *continuous* yang beroperasi sedangkan beban *intermitten* dan *standby* tidak beroperasi pada studi kasus TS1 ini. respon tegangan dan frekuensi diperlihatkan pada Gambar 4.2 dan 4.3:



Gambar 4.2 Respon Tegangan Saat Motor *GTU Pump A* *Starting* pada Beban Setengah Penuh.

Gambar 4.2 merupakan grafik respon tegangan hasil dari simulasi ketika motor *GTU lean amine main pump A* dinyalakan. Analisa dilakukan pada Bus 64 yang merupakan bus terdekat dari motor *GTU lean amine main pump A*. Pada Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa pada saat motor *start* dalam waktu 2 detik setelah sistem beroperasi pada Bus 64 tegangan turun dari 100% menjadi 91% Respon tegangan tersebut berdasarkan standar kedip tegangan IEEE 1159-1995 masih memenuhi dan tegangan dapat dikatakan masih dalam kondisi aman karena kedip tegangan tidak lebih dari 10%. Tegangan *steady state* pada waktu 12,3 detik pada nilai 99,9% setelah sistem beroperasi. Penurunan tegangan / kedip tegangan pada Gambar 4.3 terlihat cukup tinggi dikarenakan motor yang di-*start* merupakan motor dengan daya paling besar pada sistem kelistrikan HCML ini.



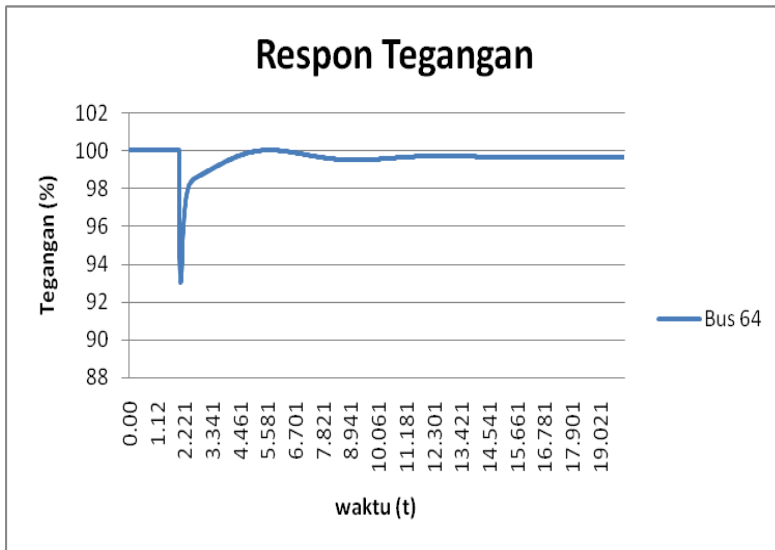
Gambar 4.3 Respon Frekuensi Saat Motor *GTU Pump A Starting* pada Beban Setengah Penuh.

Gambar 4.3 tersebut menunjukkan respon frekuensi hasil simulasi dari penyalan motor *GTU lean amine main pump A*. Pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada Bus 64 nilai frekuensi setelah motor *GTU lean amine main pump A start* selama 2 detik grafik mengalami penurunan yaitu dari 100% menjadi 99,4%, dan *steady state* pada waktu 16,7 detik dengan nilai frekuensi 99,54% Penurunan frekuensi ini berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 masih memenuhi standart sehingga frekuensi yang diperlihatkan pada Gambar 4.3 dapat dikatakan beroperasi di kondisi aman.

4.3.2 TS2

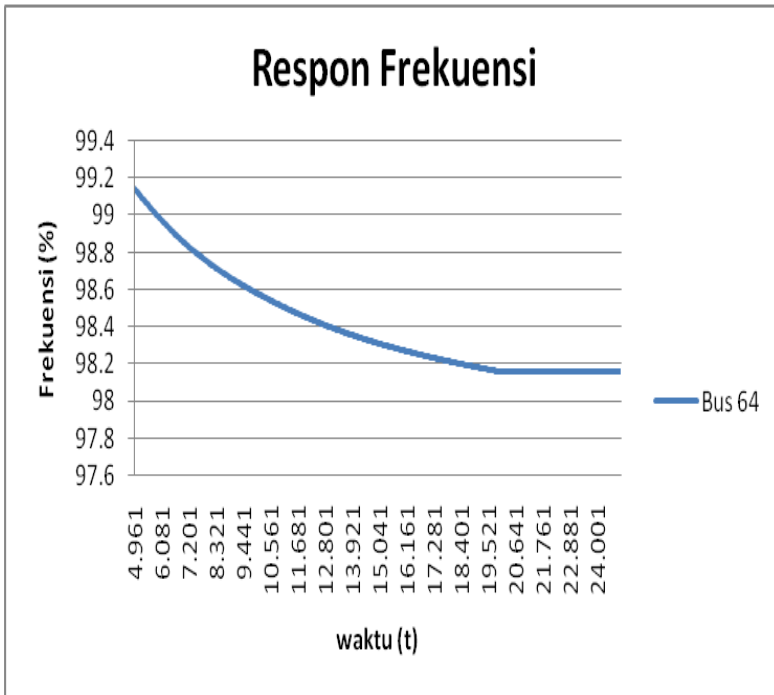
Pada studi kasus TS2 ini yaitu pada saat kondisi beban penuh 10,45 MW motor dengan daya yang terbesar di-start yaitu motor penggerak *GTU lean amine main pump A* 650 kW. Pada kondisi ini 3 buah generator beroperasi secara parallel yang masing-masing memiliki kapasitas daya 3,7 MW. Pada pola operasi TS2 ini beban yang

beroperasi adalah beban penuh atau beban puncak karena diasumsikan semua beban yang bersifat *continuous*, *intermitten*, *standby* beroperasi pada studi kasus TS2 ini. Berikut ini respon tegangan dan frekuensi:



Gambar 4.4 Respon Tegangan Saat Motor *GTU Pump A* *Starting* pada Beban Penuh.

Gambar 4.4 merupakan grafik respon tegangan saat motor *GTU lean amine main pump A* dengan daya 650 kW dinyalakan pada kondisi sistem beban penuh yaitu 10,45 MW. Pada gambar tersebut diperlihatkan pada waktu 2 detik setelah sistem beroperasi motor dinyalakan / di-start dan tegangan mengalami penurunan sesaat pada bus 64 yang merupakan bus terdekat dari motor yaitu dari 100% menjadi 93% dan pada waktu 13,4 detik sistem beroperasi tegangan *steady state* pada nilai 99,9%. Respon tegangan tersebut berdasarkan standar kedip tegangan IEEE 1159-1995 masih memenuhi dan tegangan dapat dikatakan masih dalam kondisi aman karena kedip tegangan tidak lebih dari 10%.



Gambar 4.5 Respon Frekuensi Saat Motor *GTU Pump A* *Starting* pada Beban Penuh.

Gambar 4.5 tersebut merupakan grafik respon frekuensi ketika motor *GTU lean amine main pump A start* diperlihatkan bahwa grafik nilai frekuensi pada Bus 64 mengalami penurunan yaitu dari 100% terus mengalami penurunan sampai steady state pada nilai 98,2%. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 masih memenuhi standar sehingga respon frekuensi tersebut masih dikatakan aman. Respon frekuensi yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 tersebut terus mengalami penurunan hingga mencapai *steadt state* di waktu ke 20 detik dikarenakan pada saat *start* motor ini kondisi beban yaitu pada kondisi beban penuh, namun hal ini masih dalam kondisi aman karena tidak melebihi dari standart ANSI/IEEE C37.106-1987.

4.4 Studi Kasus Koordinasi Rele

Koordinasi proteksi atau koordinasi rele pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML ini dilakukan bertujuan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada ketika terjadi gangguan. Analisa dilakukan untuk menentukan *setting* pada rele. Hasil analisa digambarkan pada kurva arus-waktu. Studi kasus Sistem proteksi pada kelistrikan *offshore platform* HCML ini dilakukan pada:

- Koordinasi peralatan proteksi pada *feeder* motor listrik yang memiliki daya yang besar, antara MCCB untuk pengaman motor dan kabel terhadap beban lebih, arus hubung singkat dengan memperhatikan arus *starting* motor, *thermal limit* motor, dan *thermal limit* kabel.
- Koordinasi peralatan antara *incoming* ACB *LV Switchgear* dengan *feeder* motor dan *feeder* beban statis yang berkapasitas besar. Susunan ini akan memberikan urutan trip secara selektif antara peralatan proteksi *downstream* dan *upstream*, itu artinya bahwa peralatan *downstream* harus beroperasi lebih dulu dan harus trip kemudian baru peralatan *upstream*.
- Koordinasi antara *incoming circuit breaker* ACB *LV Switchgear* (sisi trafo tegangan rendah) dengan *breaker* rele tegangan menengah pada RMU (sisi tegangan tinggi pada trafo) dengan memperhatikan arus *inrush*, *thermal limit* trafo, dan *thermal limit* kabel.

4.5 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Arus gangguan hubung singkat yang digunakan dalam analisis koordinasi pada tugas akhir ini adalah arus gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle* dan arus gangguan hubung singkat maksimum 4 *cycle*. Arus hubung singkat minimum 30 *cycle* digunakan untuk menemukan *pickup setting* rele sehingga ketika ada gangguan hubung singkat rele dapat bekerja dengan instan atau sesuai dengan *time delay* yang ditentukan. Simulasi hubung singkat minimum 30 *cycle* dan hubung singkat maksimum 4 *cycle* dilakukan pada bus yang dipilih sebagai tipikal koordinasi yang dianalisis. Hasil simulasi tersebut dapat dilihat berturut-turut pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.6 Data hubung singkat minimum 30 cycle

No.	Bus	Tegangan	Nilai Arus Hubung Singkat Minimum
1.	Bus 64	6.6 kV	1,43 Ka
2.	Bus 3-1	6.6 kV	4,02 Ka
3.	Bus 68	6.6 kV	0,67 kA
4.	Bus 52	480 V	0,25 Ka
5.	Bus 4	480 V	8,4 Ka

Tabel 4.7 Data hubung singkat maksimum 4 cycle

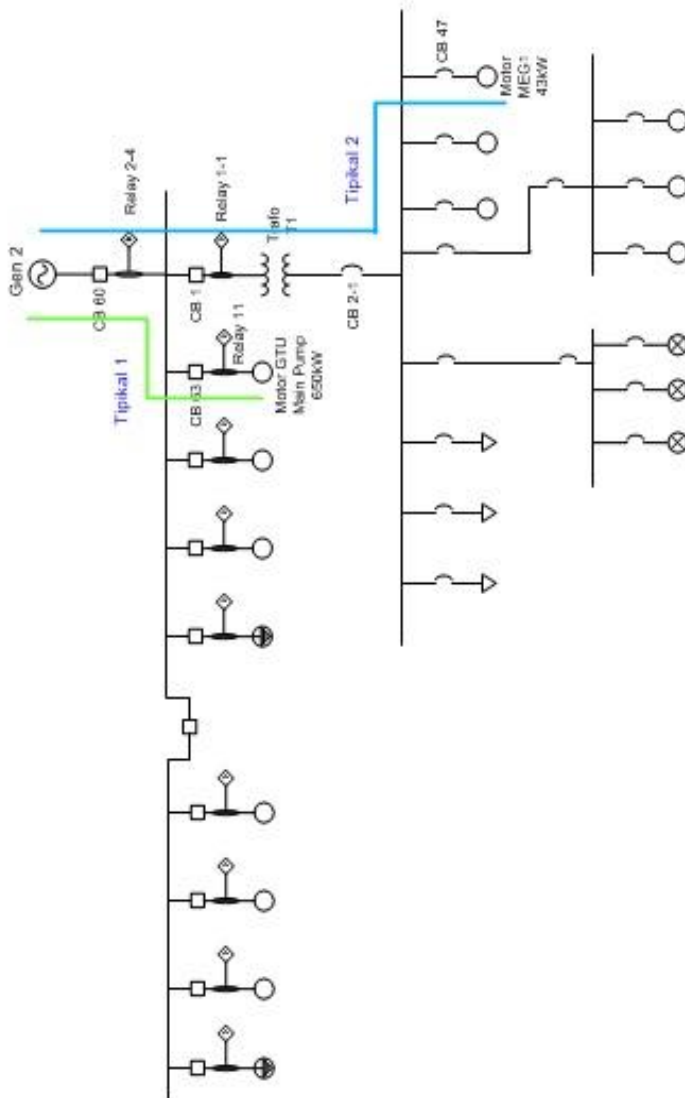
No.	Bus	Tegangan	Nilai Arus Hubung Singkat Maksimum
1.	Bus 64	6.6 kV	1,79 kA
2.	Bus 3-1	6.6 kV	6,6 Ka
3.	Bus 68	6.6 kV	1,43 kA
4.	Bus 52	480 V	0,35 kA
5.	Bus 4	480 V	8,93 kA

4.6 Pemilihan Tipikal Koordinasi

Penentuan tipikal koordinasi perlu dilakukan untuk mempermudah *setting* koordinasi rele. Tipikal koordinasi yang dicontohkan dalam tugas akhir ini dibagi menjadi:

- 1.) Tipikal koordinasi 1
- 2.) Tipikal koordinasi 2

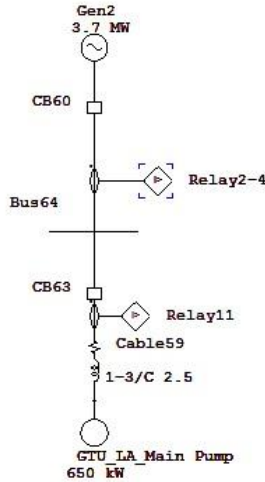
Tipikal Koordinasi rele pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML ini dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut



Gambar 4.6 Tipikal Koordinasi 1 dan 2 pada Simulasi Koordinasi Rele

4.6.1 Koordinasi Rele Tipikal 1

Koordinasi rele / koordinasi proteksi tipikal 1 pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML ini dilakukan dengan urutan sebagai berikut:



Gambar 4.7 Koordinasi Rele Tipikal 1

Berdasarkan skema tersebut dapat dilihat bahwa koordinasi Tipikal 1 dianalisa mulai dari motor *GTU main pump* (650 kW) sampai dengan ke generator Gen2. Pada tipikal ini dilakukan terlebih dahulu perhitungan secara manual. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

1.) Relay 11 / R. CB63

<i>Manufacture</i>	: Eaton
<i>Type</i>	: EDR 5000
<i>Curve Type</i>	: <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100/1
$I_{SC \text{ min } 30 \text{ cycle Bus } 68}$: 670 A
$I_{sc \text{ max Bus } 68}$: 1430 A
$FLA \text{ Motor GTU}$: $\frac{650000}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.85} = 66,9 \text{ A}$

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$$1.05I_n \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4I_n \times FLA$$

$$1.05I_n \times 66,9 \leq I_{set} \leq 1.4I_n \times 66,9$$

$$\frac{70,25}{100} \leq I_{set} \leq \frac{93,66}{100}$$

$$0,7 \leq \text{Tap} \leq 0,94$$

Dipilih tap = 0,9

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 68.

$$T_d = \frac{[t] \times \left[\frac{I_{sc \max}^{0,02}}{I_{pick \ up}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{[0,5] \times \left[\frac{1430^{0,02}}{100} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,2 \quad \text{dipilih } T_d = 1,45$$

Instantaneous Pick Up ($I >>$)

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 68}}$$

$$1,6 \times 66,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 670$$

$$107,04 \leq I_{set} \leq 536$$

$$\frac{107,04}{100} \leq I_{set} \leq \frac{536}{100}$$

$$1,07 \leq I_{set} \leq 5,36 \quad \text{Dipilih tap} = 5,33$$

Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

2.) Relay 2-4 / R.CB60

Manufacture : Eaton

Type : EDR 5000

Curve Type : Extremely Inverse

CT Ratio : 400/1

$I_{SC \text{ min } 30 \text{ cycle}}$ Bus 64 : 1430 A

I_{sc max} Bus 64 : 1790 A

FLA Generator 2 : $\frac{3700000}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.85} = 380,8\text{A}$

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$1.05I_n \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 1.4I_n \times \text{FLA}$

$1.05I_n \times 380,8 \leq I_{set} \leq 1.4I_n \times 380,8$

$\frac{399,84}{400} \leq I_{set} \leq \frac{533,12}{400}$

$0.9 \leq \text{Tap} \leq 1,3$

Dipilih tap = 0,9

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 64

$$T_d = \frac{[t] \times \left[\frac{I_{sc \max}^{0,02}}{I_{pick \ up}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{[0,3] \times \left[\frac{1790^{0,02}}{400} - 1 \right]}{0,14}$$

$T_d = 0,06$ dipilih $T_d = 0,43$

Instantaneous Pick Up ($I >>$)

$1,6 \times \text{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \text{ Bus 64}$

$1,6 \times 380,8 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1430$

$609,28 \leq I_{set} \leq 1144$

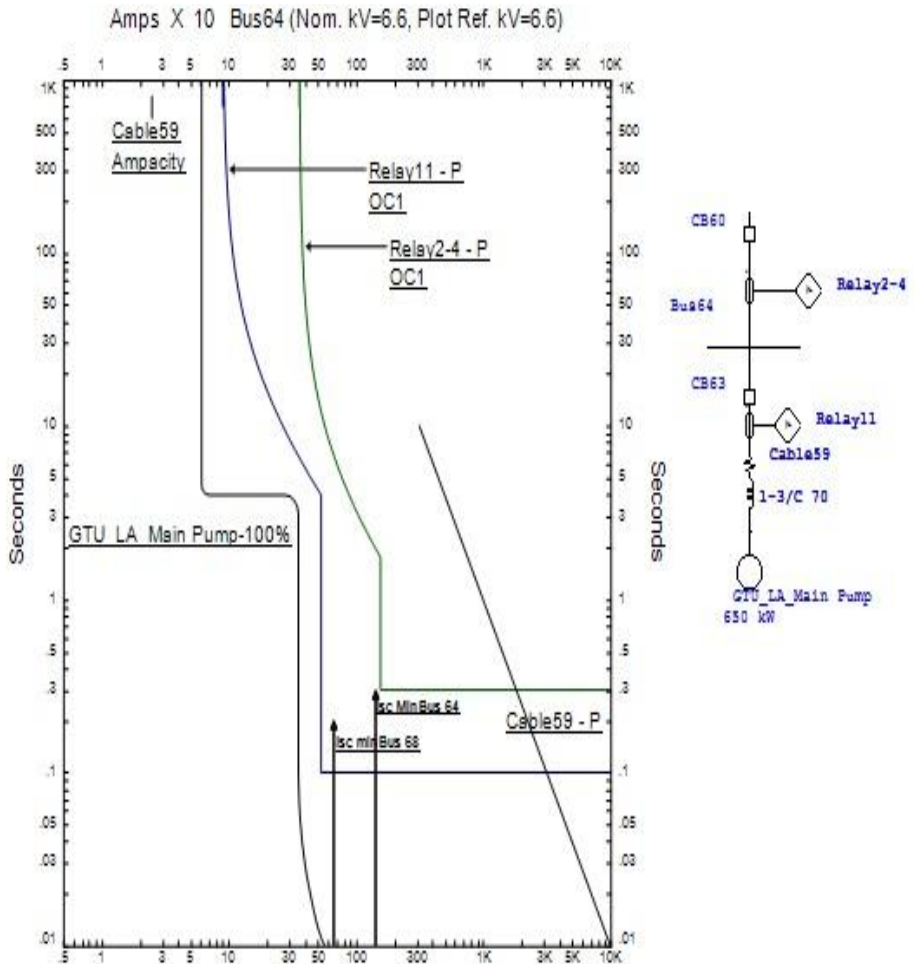
$\frac{609,28}{400} \leq I_{set} \leq \frac{1144}{400}$

$1,52 \leq I_{set} \leq 2,86$ Dipilih tap = 1,84

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

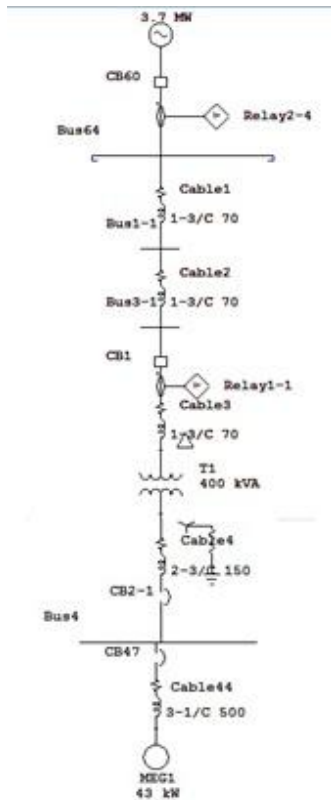
Setelah dilakukan perhitungan kemudian plot kurva TCC Tipikal 1 diperlihatkan sebagai berikut:



Gambar 4.8 Hasil Plot Tipikal 1

4.6.2 Koordinasi Rele Tipikal 2

Koordinasi rele / koordinasi proteksi tipikal 2 pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML ini dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

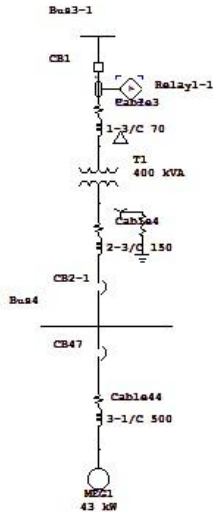


Gambar 4.9 Koordinasi Rele Tipikal 2

Berdasarkan skema tersebut dapat dilihat bahwa koordinasi Tipikal 2 dianalisa mulai dari generator Gen2 sampai dengan ke motor MEG1 (43kW). Pada tipikal 2 ini akan dibagi menjadi tipikal 2A dan Tipikal 2B.

4.6.2.1 Koordinasi Rele Tipikal 2A

Koordinasi rele atau koordinasi proteksi tipikal 2A ini meliputi motor MEG1 sampai dengan bus 3-1. Berikut ini skema koordinasi proteksi untuk tipikal 2A:



Gambar 4.10 Koordinasi Rele Tipikal 2A

Pada tipikal 2A ini dilakukan terlebih dahulu perhitungan secara manual. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

1.) CB47 / ACB

Manufacture : Merlin Gerin

Type : Micrologic 6.0

$I_{SC \text{ min } 30 \text{ cycle Bus } 52}$: 250 A

I_{sensor} : 100 A

$FLA \text{ Motor MEG1}$: $\frac{43000}{\sqrt{3} \times 480 \times 0,85} = 60,85 \text{ A}$

Long Time Pick Up

$$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ bus } 52}$$

$$1.05 \times 60,85 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 250$$

$$63,89 \leq I_{set} \leq 200$$

$$I_{set} = 63,89 \text{ A}$$

$$\text{Long Time (LT) Pick Up} = \frac{I_{set}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{63,89}{100} = 0,64$$

Dipilih LT Band = 4 detik

Short Time Pickup Setting

$$I_{set} \leq \frac{I_{sc \text{ min Bus4}}}{I_{sensor}}$$

$$I_{set} \leq \frac{250}{100}$$

Dipilih $I_{set} = 4 \text{ A}$

Dipilih ST Band = 0,1 detik

2.) CB2-1 / ACB

Manufacture : Merlin Gerin

Type : Micrologic 6.0

$I_{SC \text{ min 30 cycle Bus 4}}$: 8400A

I_{sensor} : 600A

FLA Trafo T1 : $\frac{400000}{\sqrt{3} \times 480} = 481,13 \text{ A}$

Long Time Pick Up

$$1.05 \times FLA \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ bus 52}}$$

$$1.05 \times 481,13 \leq I_{set} \leq 0.8 \times 8400$$

$$505,19 \leq I_{set} \leq 6720$$

$I_{set} = 540 \text{ A}$

$$\text{Long Time (LT) Pick Up} = \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{540}{600} = 0,9$$

Dipilih LT Band = 2 detik

Short Time Pickup Setting

$$I_{set} \leq \frac{I_{sc \text{ min Bus4}}}{I_{sensor}}$$

$$I_{set} \leq \frac{8400}{600}$$

Dipilih $I_{set} = 2,5 \text{ A}$

Dipilih ST Band = 0,4 detik

3.) Relay 1-1 / R. CB1

Manufacture : Eaton

Type : EDR 5000

Curve Type : *Extremely Inverse*

$$\begin{aligned}
 CT \text{ Ratio} & : 200/5 \\
 I_{SC \text{ min } 30 \text{ cycle Bus 3-1}} & : 4020 \text{ A} \\
 I_{sc \text{ max Bus 3-1}} & : 6600 \text{ A} \\
 FLA \text{ Trafo T1} & : \frac{400000}{\sqrt{3} \times 6600} = 34,9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$$1.05 I_n \times FLA \leq I_{set} \leq 1.4 I_n \times FLA$$

$$1.05 I_n \times 34,9 \leq I_{set} \leq 1.4 I_n \times 34,9$$

$$\frac{36,65}{40} \leq I_{set} \leq \frac{48,86}{40}$$

$$0,92 \leq \text{Tap} \leq 1,2$$

Dipilih tap = 1.2

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 3-1.

$$T_d = \frac{[t] \times \left[\frac{I_{sc \text{ max}}^{0,02}}{I_{pick \text{ up}}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{[0,5] \times \left[\frac{6600^{0,02}}{40} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,38 \quad \text{dipilih } T_d = 0.43$$

Instantaneous Pick Up ($I >>$)

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 3-1}}$$

$$1,6 \times 34,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 4020$$

$$55,84 \leq I_{set} \leq 3216$$

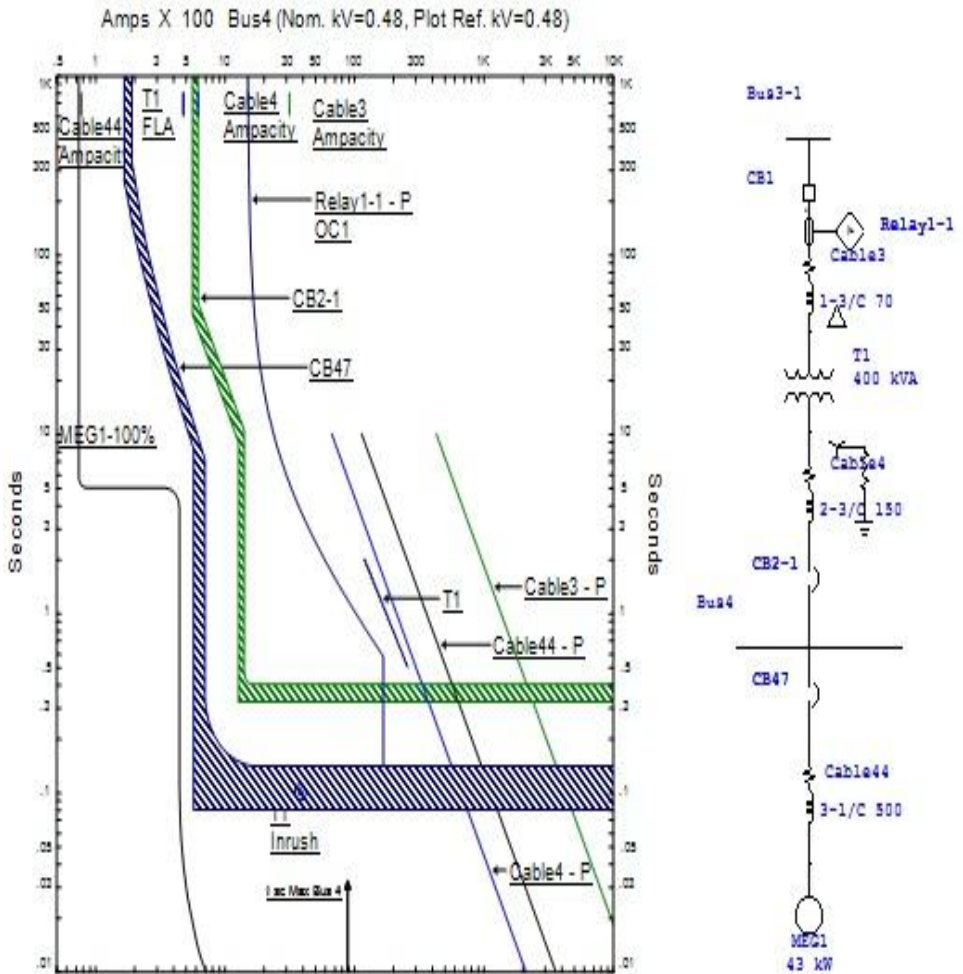
$$\frac{55,84}{40} \leq I_{set} \leq \frac{3216}{40}$$

$$1,4 \leq I_{set} \leq 80,4 \quad \text{Dipilih tap} = 24,47$$

Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

Setelah dilakukan perhitungan kemudian plot kurva TCC Tipikal 2A diperlihatkan sebagai berikut:



Gambar 4.13 Hasil Plot Tipikal 2A

$$0,92 \leq \text{Tap} \leq 1,2$$

Dipilih tap = 1,2

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 3-1.

$$T_d = \frac{[t] \times \left[\frac{I_{sc \max}^{0,02}}{I_{pick \ up}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{[0,5] \times \left[\frac{6600^{0,02}}{40} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,38 \quad \text{dipilih } T_d = 0,43$$

Instantaneous Pick Up ($I >>$)

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Isc min Bus 3-1}$$

$$1,6 \times 34,9 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 4020$$

$$55,84 \leq \text{Iset} \leq 3216$$

$$\frac{55,84}{40} \leq \text{Iset} \leq \frac{3216}{40}$$

$$1,4 \leq \text{Iset} \leq 80,4 \quad \text{Dipilih tap} = 24,47$$

Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

2.) Relay 2-4 / R.CB60

Manufacture : Eaton

Type : EDR 5000

Curve Type : Extremely Inverse

CT Ratio : 400/1

$I_{sc \min 30 \text{ cycle Bus 64}}$: 1430 A

$I_{sc \max \text{ Bus 64}}$: 1790 A

FLA Generator 2 : $\frac{3700000}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0,85} = 380,8 \text{ A}$

Time Overcurrent Pick Up ($I >$)

$$1,05 I_n \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 I_n \times \text{FLA}$$

$$1.05I_n \times 380,8 \leq I_{set} \leq 1.4I_n \times 380,8$$

$$\frac{399,84}{400} \leq I_{set} \leq \frac{533,12}{400}$$

$$0,9 \leq Tap \leq 1,3$$

Dipilih tap = 0,9

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik saat terjadi gangguan hubung singkat maksimum 4 cycle pada bus 64

$$T_d = \frac{[t] \times \left[\frac{I_{sc\ max}^{0,02}}{I_{pick\ up}} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{[0,3] \times \left[\frac{1790^{0,02}}{400} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,06 \text{ dipilih } T_d = 0,43$$

Instantaneous Pick Up ($I_{>>}$)

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 64}$$

$$1,6 \times 380,8 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 1430$$

$$609,28 \leq I_{set} \leq 1144$$

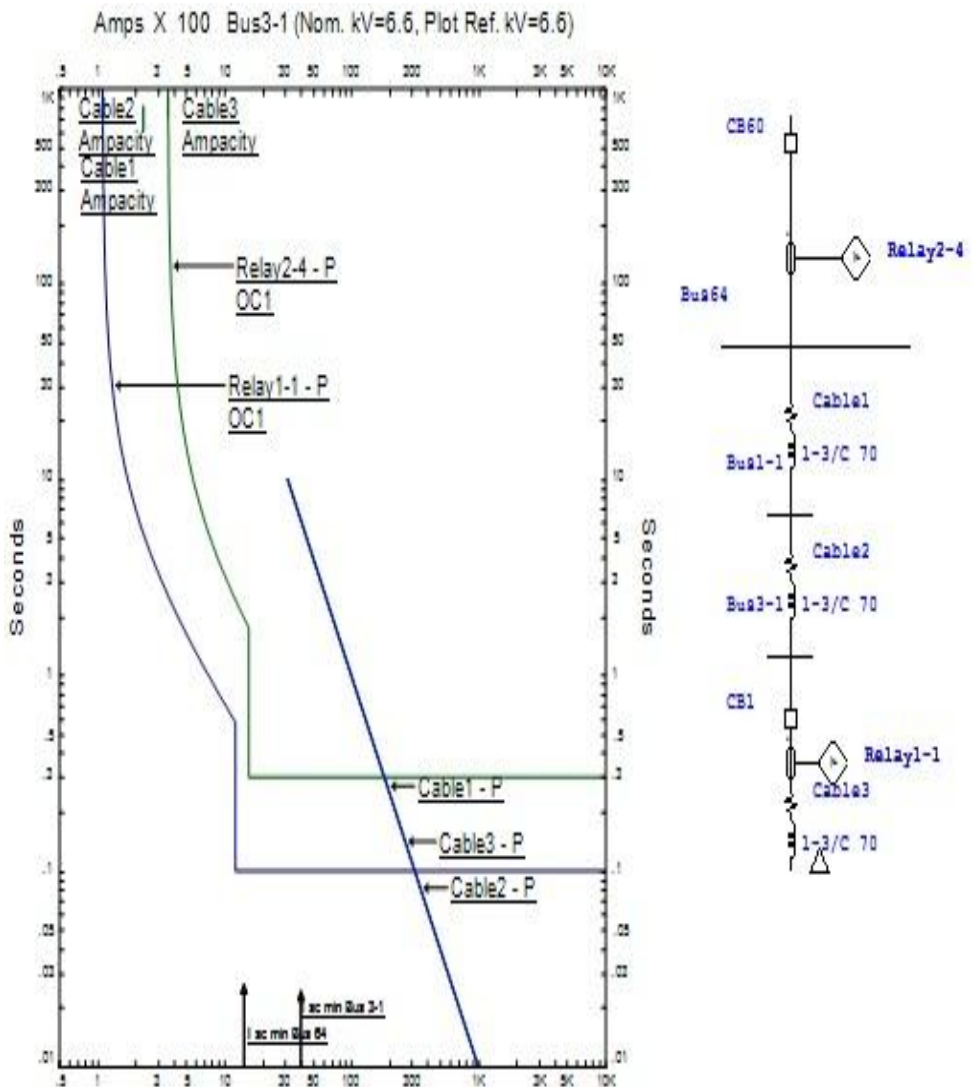
$$\frac{609,28}{400} \leq I_{set} \leq \frac{1144}{400}$$

$$1,52 \leq I_{set} \leq 2,86 \text{ Dipilih tap} = 1,84$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time\ delay = 0,3 \text{ s}$$

Setelah dilakukan perhitungan kemudian plot kurva TCC Tipikal 1 diperlihatkan sebagai berikut:



Gambar 4.13 Hasil Plot Tipikal 2B

Dari hasil analisa perhitungan kedua tipikal yaitu tipikal 1 dan tipikal 2 tersebut, rekomendasi *setting* peralatan pengaman arus lebih pada sistem kelistrikan HCML diperlihatkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.5 Rekomendasi *Setting* Rele Arus Lebih

Rele	Tipe	CT Ratio	Kurva	Tap	Time Dial	Instantaneous	Delay
Relay 2-4 / R.CB63	EDR 5000	400/1	Very Inverse	0,9	0,43	1,84	0,3
Relay 11 / R.CB63	EDR 5000	100/1	Very Inverse	0,9	1,45	5,33	0,1
Relay 1-1/ RCB1	EDR 5000	200/5	Very Inverse	1,2	0,43	24,47	0,1

Tabel 4.6 Rekomendasi *Setting* LVCB/ACB

LVCB	Bus	Tipe	Sensor ID	LT Pick Up	LT Band	ST Pick Up	ST Band
CB 2-1	Bus 4	Merlin Gerin Micrologic 6.0	600	0,9	2	2,5	0,4
CB 47	Bus 52	Merlin Gerin Micrologic 6.0	250	0,64	4	4	0,1

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan simulasi Stabilitas Transien dan koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikan *offshore platform* HCML adalah sebagai berikut:

1. Motor dengan daya yang paling besar pada sistem kelistrikan HCML yaitu motor *GTU Lean Amine Main Pump A* pada saat *starting GTU Lean Amine Main Pump A* terjadi tegangan jatuh seketika atau tegangan kedip sesaat namun setelah beberapa waktu kembali ke *steady state* dan masih dikatakan dalam kondisi normal karena masih sesuai dengan standart IEEE.
2. Terdapat dua tipikal yang digunakan dalam koordinasi rele pada tugas akhir ini. Tipikal tersebut adalah tipikal 1, dan tipikal 2
3. Pada tipikal 1 studi kasus dilakukan pada Koordinasi peralatan antara *incoming Switchgear* dengan *feeder* motor dan *feeder* beban statis yang berkapasitas besar. Susunan ini akan memberikan urutan trip secara selektif antara peralatan proteksi *downstream* dan *upstream*, itu artinya bahwa peralatan *downstream* harus beroperasi lebih dulu dan harus trip kemudian baru peralatan *upstream*
4. Pada Tipikal 2 dilakukukan analisa pada studi kasus yaitu:
 - Koordinasi antara *incoming circuit breaker ACB LV Switchgear* (sisi trafo tegangan rendah) dengan *breaker* rele tegangan menengah pada RMU (sisi tegangan tinggi pada trafo) dengan memperhatikan arus *inrush*, *thermal limit* trafo, dan *thermal limit* kabel.
 - Koordinasi peralatan proteksi pada *feeder* motor listrik yang memiliki daya yang besar, antara MCCB untuk pengaman motor dan kabel terhadap beban lebih, arus hubung singkat dengan memperhatikan arus *starting* motor, *thermal limit* motor, dan *thermal limit* kabel.

5.2 Saran

1. Untuk sistem kelistrikan pada *offshore platform* HCML ini memiliki sumber dengan kapasitas daya yang besar namun demikian apabila ada penambahan beban agar tetap diperhitungkan.
2. *Setting* peralatan pengaman yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat digunakan sebagai pertimbangan maupun referensi untuk *setting* yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sirisha Tanneru, Joydeep mitra, Yashwant J. Patil, “*Effect of Large Induction Motors on The Transient Stability of Power System*”, IEEE 2007.
- [2] IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [3] Alan L. Sheldrake, 2003, “*Handbook of Electrical Engineering for Practitioners in the Oil, Gas, and Petrochemical Industry*”, USA, Wiley.
- [4] R.Wahyudi, Ir, ”*Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*”, 2012
- [5] Lazar, Irwin, “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, 1980
- [6] Prév  , Christophe, “*Protection of Electrical Networks*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap **M. Andri Ludfi Fanani Alwi** dilahirkan sebagai anak pertama dari dua bersaudara di Kediri pada tanggal 14 Desember 1990. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 4 Kediri pada tahun 2009. Penulis melanjutkan dan menyelesaikan pendidikan diploma 3 (D3) Pada bidang studi Teknik Kelistrikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) tahun 2012. Pada Akhir tahun 2012 penulis mulai bekerja di PT. PAL Indonesia sebagai *Quality Inspector* hingga saat ini. Pada Agustus Tahun 2013 Hingga Maret 2017 Penulis menempuh pendidikan sarjana (S1) pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Halaman ini sengaja dikosongkan